

GI-Edition

Lecture Notes in Informatics



Maximilian Eibl, Martin Gaedke (Hrsg.)

INFORMATIK 2017

25.–29. September 2017
Chemnitz

275

Proceedings

Maximilian Eibl, Martin Gaedke (Hrsg.): INFORMATIK 2017



Maximilian Eibl, Martin Gaedke (Hrsg.)

INFORMATIK 2017

25.–29. September 2017
Chemnitz, Deutschland

Gesellschaft für Informatik e.V. (GI)

Lecture Notes in Informatics (LNI) - Proceedings
Series of the Gesellschaft für Informatik (GI)

Volume P-275

ISBN 978-3-88579-669-5
ISSN 1617-5468

Volume Editors
Univ.-Prof. Dr. Maximilian Eibl.
Technische Universität Chemnitz
Straße der Nationen 62, 09111 Chemnitz
maximilian.eibl@informatik.tu-chemnitz.de

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Martin Gaedke
Technische Universität Chemnitz
Straße der Nationen 62, 09111 Chemnitz
martin.gaedke@informatik.tu-chemnitz.de

Series Editorial Board
Heinrich C. Mayr, Alpen-Adria-Universität Klagenfurt, Austria
(Chairman, mayr@ifit.uni-klu.ac.at)
Dieter Fellner, Technische Universität Darmstadt, Germany
Ulrich Flegel, Infineon, Germany
Ulrich Frank, Universität Duisburg-Essen, Germany
Andreas Thor, HFT Leipzig, Germany
Michael Goedicke, Universität Duisburg-Essen, Germany
Ralf Hofestädt, Universität Bielefeld, Germany
Michael Koch, Universität der Bundeswehr München, Germany
Axel Lehmann, Universität der Bundeswehr München, Germany
Thomas Roth-Berghofer, University of West London, Great Britain
Peter Sanders, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Germany
Torsten Brinda, Universität Duisburg-Essen, Germany
Ingo Timm, Universität Trier, Germany
Karin Vosseberg, Hochschule Bremerhaven, Germany
Maria Wimmer, Universität Koblenz-Landau, Germany

Dissertations
Steffen Hölldobler, Technische Universität Dresden, Germany
Thematics
Andreas Oberweis, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Germany

© Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017
printed by Köllen Druck+Verlag GmbH, Bonn



This book is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 3.0 License.

Vorwort

Die Digitalisierung hat sich als Hauptmotor gesellschaftlichen Wandels etabliert. Sie umfasst alle Bereiche der Kultur, angefangen in den 1980er Jahren bei den digitalisierten Schriften der Literaturwissenschaft, den virtuell rekonstruierten Funden der Archäologie über die nahezu komplett umstrukturierte Musikwirtschaft bis hin zu agilen Strukturen sowie neuen Formen der Kommunikation über Soziale Netze, die besonders deutlich machen wie nah die Begriffe Kultur, Subkultur und Unkultur beieinanderliegen. Vom 25.-29. September 2017 beleuchtete die INFORMATIK 2017 an der Technischen Universität Chemnitz die Herausforderungen, Risiken, Ziele sowie Potenziale und Errungenschaften digitaler Kulturen, dem diesjährigen Leitthema der Konferenz.

In über 30 Workshops diskutierten Vertreterinnen und Vertreter von Wissenschaft, Wirtschaft und Politik zu unterschiedlichsten interdisziplinären Themen wie Musik und Informatik, mediale Kulturvermittlung, allgegenwärtige Kommunikation, Partizipatives Design, Hyper-connected Gesellschaft, oder auch Offene ITK Systeme, Sicherheit, Big Data, AI und Deep Learning, Web und Internet of Things bis hin zu Smart Systems und Automotive Software Engineering. Darüber hinaus lag ein besonderer Schwerpunkt auf Angeboten für den Nachwuchs von Schülerinnen und Schülern über Studierende bis hin zu Promovierenden. Das Tagungsprogramm mit Preisverleihungen, ein Ausstellerbereich, eine abendliche Festveranstaltung und ein Industrieprogramm bot zahlreiche Möglichkeiten für einen fachlichen Austausch.

Der vorliegende Band enthält die 226 angenommenen der insgesamt über 340 eingereichten Workshopbeiträge. Die Auswahl der Workshops erfolgte durch die Tagungsleitung. Jeder Workshop organisierte ein eigenes Programmkomitee, welches die Einreichungen sichtete und begutachtete.

Eine Konferenz dieser Größe bedarf Vieler. Wir danken ausdrücklich allen Helferinnen und Helfern, die uns bei Organisation und Durchführung unterstützt haben, Studierende, Mitglieder der Fakultät für Informatik, Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der Verwaltung und insbesondere: Sebastian Heil, Dajana Herklotz, Ariane Jacobs, Michael Krug, André Langer, Andreas Müller, Matthias Pohl, Ralph Sontag, Sylvio Ujvari, Thomas Wilhelm-Stein sowie natürlich Frau Cornelia Winter und dem Team der Gesellschaft für Informatik. Wir danken ferner den Hauptvortragenden Lora Aroyo von der Universität Amsterdam, Sören Auer von der Technischen Informationsbibliothek Hannover, Schahram Dustdar von der Technischen Universität Wien und Richard Stallman von der Free Software Foundation. Wir danken unseren Sponsoren, Organisationsteams der Workshops, Autorinnen und Autoren und wir danken natürlich auch allen Teilnehmerinnen und Teilnehmern. Schließlich danken wir dem BMBF für die Übernahme der Schirmherrschaft der Konferenz.

Chemnitz, im September 2017

Maximilian Eibl und Martin Gaedke

Sponsoren

Wir danken den folgenden Unternehmen und Institutionen für die Unterstützung der Konferenz.

Bundesministerium für Bildung und Forschung



CLOUD&HEAT Technologies GmbH

CLOUD&HEAT

VISUAL WORLD GmbH



Walter de Gruyter GmbH



MEGWARE Computer Vertrieb und Service GmbH



euro engineering AG



interface projects GmbH



Springer Vieweg | Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH



itelligence AG



DMK E-BUSINESS GmbH



TÜV Informationstechnik GmbH



pro et con Innovative Informatikanwendungen GmbH



Tagungsteam

Prof. Dr. Maximilian Eibl	Tagungsleitung
Prof. Dr.-Ing. Martin Gaedke	Tagungsleitung
Dajana Herklotz	Sponsoring, Konferenzbüro
Dr. Thomas Wilhelm-Stein	Webseite
Sebastian Heil	Tagungsband
Ariane Jacobs	Catering, Merchandising
Michael Krug	Programmheft
Dr. Andreas Müller	Schülertag
Matthias Pohl	Rahmenprogramm
André Langer	Öffentlichkeitsarbeit
Ralph Sontag	Helfereinsatz
Sylvio Ujvari	Logistik, Raumplanung
Titus Theiß	Security

Inhaltsverzeichnis

Band I

Workshops

Musik trifft Informatik

Meinard Müller, Christian Dittmar
Workshop WS01 „Musik trifft Informatik“ 47

Andreas Arzt, Matthias Dorfer
Aktuelle Entwicklungen in der Automatischen Musikverfolgung 49

Stefan Balke, Paul Bießmann, Sebastian Trump, Meinard Müller
Konzeption einer webbasierten Benutzerschnittstelle zur Unterstützung des Jazz-Piano Unterrichts 61

Stefan Balke, Manuel Hiemer, Peter Schwab, Vlora Arifi-Müller, Klaus Meyer-Wegener, Meinard Müller
Die Oper als Multimediaszenario: Wagners Walküren gehen online 75

Manuel Burghardt, Lukas Lamm
Entwicklung eines Music Information Retrieval-Tools zur Melodic Similarity-Analyse deutschsprachiger Volkslieder 87

Isabella Czedik-Eysenberg, Denis Knauf, Christoph Reuter
“Hardness ” as a semantic audio descriptor for music using automatic feature extraction 101

Klaus Frieler, Martin Pfleiderer
Onbeat oder offbeat? Überlegungen zur symbolischen Darstellung von Musik am Beispiel der metrischen Quantisierung 111

Tobias Geib, Maximilian Schmitt, Björn Schuller
Automatic Guitar String Detection by String-Inverse Frequency Estimation . 127

Sascha Grollmisch, Hanna Lukashevich
Soundslike – Automatic content-based music annotation and recommendation for large databases 139

Anna Kruspe, Dominik Zapf, Hanna Lukashevich
Automatic speech/music discrimination for broadcast signals 151

Frank Scherbaum, Meinard Müller, Sebastian Rosenzweig
Rechnergestützte Musikethnologie am Beispiel historischer Aufnahmen mehrstimmiger georgischer Vokalmusik 163

Maximilian Schmitt, Björn Schuller
Recognising Guitar Effects – Which Acoustic Features Really Matter? . . . 177

Simon Waloschek
Audioschnitt in digitalen Noten 191

Christof Weiß, Frank Zalkow, Meinard Müller, Stephanie Klauk, Rainer Kleinertz
Versionsübergreifende Visualisierung harmonischer Verläufe: Eine Fallstudie zu Wagners Ring-Zyklus 205

Michael Wittland, Vincent Raciti, Michael Oehler
Musik und Emotion: Ein auf SVM-Klassifikation basierendes anwendungsorientiertes Werkzeug zur Emotionserkennung 219

7,5. HDI-Workshop des GI-Fachbereichs Informatik und Ausbildung / Didaktik der Informatik

Ulrik Schroeder, Andreas Schwill
7,5. HDI-Workshop des GI-Fachbereichs Informatik und Ausbildung / Didaktik der Informatik 233

Jörg Desel
Die Entwicklung neuer GI-Empfehlungen für Informatik-Studiengänge . . 235

Holger Danielsiek, Peter Hubwieser, Johannes Krugel, Johannes Magenheim, Laura Ohrndorf, Daniel Ossenschmidt, Niclas Schaper, Jan Vahrenhold
Kompetenzbasierte Gestaltungsempfehlungen für Informatik-Tutorenschulungen 241

Claudia Lemke, Kathrin Kirchner, Barbara Rohner
Es ist Vorlesung und keiner geht hin: Nutzerzentrierte Bedürfnisanalyse für eine digitale Lehr- und Lernplattform 255

Felix Kiehn, Christiane Frede, Maria Knobelsdorf
Was macht Theoretische Informatik so schwierig? Ergebnisse einer qualitativen Einzelfallstudie 267

Michael Goedicke, Michael Striewe
10 Jahre automatische Bewertung von Programmieraufgaben mit JACK — Rückblick und Ausblick 279

Wolfgang Golubski, Oliver Arnold, Frank Grimm
On the Flipped Side of Programming — Ein Durchführungskonzept für die Programmierausbildung als dynamischer Flipped Classroom 285

Alexander Kröner, Timo Götzelmann
Fitts' Gesetz als programmtechnische und empirische Aufgabe für Studierende der Informatik 295

Bastian Küppers, Ulrik Schroeder
Vergleich von Papierklausuren und elektronischen Prüfungen 307

Teilhabe an der allgemeinen Kommunikation

Henning Lübbecke
Workshop „Text“Teilhabe an der allgemeinen Kommunikation 321

Stefanie Linde, Eberhard Zehendner
Untersuchung und Optimierung der Benutzbarkeit alters-angepasster Captcha-Mechanismen – Ein sanfter Einstieg in das Gebiet der IT-Sicherheit für die Generation Plus 323

Petra Gröber
Barrierefreie Webseiten für Blinde? 331

Susanne Dirks, Christian Bühler
Akzeptanz von assistiven Softwaresystemen für Menschen mit kognitiven Beeinträchtigungen – Sind die klassischen Ansätze aus der Technologie-Akzeptanzforschung für assistive Softwaresysteme geeignet? . 345

Christian Bühler, Miriam Padberg
Elektronischer Job-Coach 361

Isabel Dziobek, Ulrike Lucke, Arne Manzeschke
Emotions-sensitive Trainingssysteme für Menschen mit Autismus: Ethische Leitlinien 369

CDG – Competence Developing Games

Martin R. Wolf, Johannes A. König
WS04 CDG — Competence Developing Games 383

Martin R. Wolf, Johannes A. König
Competence Developing Games — Ein Überblick 385

Axel Jacob, Frank Teuteberg
Gamification: Konzepte und Anwendungsfelder — eine quantitative Metaanalyse 393

Anna Feldmann, Frank Teuteberg
Wie kann durch Gamification die Mitarbeiterpartizipation auf einer Social-Business-Plattform gesteigert werden? 405

Jan Heinrich Beinke, Pascal Meier, David Fiege, Anne Christin Münning, Frank Teuteberg
Entwicklung und Evaluierung eines Competence Developing Game für die Generation 50+ zum Erwerb von Medienkompetenz im Umgang mit sozialen Netzwerken 417

Bahar Kutun, Werner Schmidt
Brettspiel zur Entwicklung von Fachkompetenz in verschiedenen Themengebieten mittels Gamification 427

Nicolas Pflanzl, Arthur Vetter, Kai Hussong, Andreas Oberweis, Frank Schönthaler, Gottfried Vossen
Horus Gamification: Ein Prototyp zum Einsatz von Gamification im Rahmen des Social BPM 433

Jessica Köhler
Game of Chefs - Ein Software-Prototyp für das Fach „Deutsch als Fremdsprache“ 439

Ilse Hartmann, Klemens Waldhör
Das hybride Spiel „Gipfeleroberer “ 445

Pierre Suchacek, Annette Köhler, Florian Höschl, Michael Felleisen
The Submarine Crew - A Serious Game relating to the German Movie "Das Boot" 451

Lars Kollmann, Rene Knap, Fabian Rüb, Evgenij Renke, Cindy Mund, Matthias Ulfig, Alexandra Grund, Alexander Reuter, Martin R. Wolf
makeIT(true); — //Rette die Heimat von Beta17! 457

HDP – Hardware Defined Programming

Oliver Knodel, Steffen Köhler, Marko Rößler, Rainer G. Spallek
First Workshop on Hardware Defined Programming — HDP 467

Thomas Fabian Starke, Timm Bostelmann, Sergei Sawitzki
FPGA-basierter Protein- und DNA-Sequenzvergleich zur optimierten Datenbanksuche mit dem BLAST-Algorithmus 469

Benedikt Janßen, Tim Wingender, Michael Hübner
A Hardware Accelerator Framework Approach for Dynamic Partial Reconfigurable Overlays on Xilinx PYNQ 481

Steffen Köhler, Rainer G. Spallek
Modellierung anwendungsspezifischer Hardware und deren Einbettung in die DBT-basierte Prozessor-Verhaltenssimulation 493

Christian Schott, Daniel Froß, Marko Rößler, Ulrich Heinkel
Hardwaregestützte Positionsschätzung mit Bayes’schen Filtern auf Basis 3-dimensionaler Umgebungsmodelle für den Innenbereich 503

Radovan Vuletić, Sandra Zeljković, Pawan Garg, Alann Denais
DC/DC Converter Development by Means of Electrical/Thermal Co-Simulation — from Concept to Control Algorithm and Test 515

Paul R. Genssler, Oliver Knodel, Rainer G. Spallek
A New Level of Trusted Cloud Computing — Virtualized Reconfigurable Resources in a Security-First Architecture 531

Clemens Fritzsch, Jörn Hoffmann, Martin Bogdan
Separated Random Number Generators for Virtual Machines 543

Blended Museum: Neue Formen der medialen Kulturvermittlung

Daniel Klinkhammer, Harald Reiterer
Blended Museum: Neue Formen der medialen Kulturvermittlung 551

Daniel Klinkhammer, Harald Reiterer
Blended Museum 553

Eberhard Schlag
Mediale Vermittlungsstrategien in der Szenografie 567

Jens-Martin Loebel
Interaktion mit multimedialen digitalen Artefakten im Museumskontext — Ein Praxisbericht 577

Jutta Dresch, Christof Mainberger
Digitale Erschließung in Museen — die Nutzung von imdas pro in den baden-württembergischen Landesmuseen 585

Falk Schreiber
Analyse und Aufzeigen von Zusammenhängen 597

MOC 2017 – 9. Workshop zur Deklarativen Modellierung und effizienten Optimierung komplexer Probleme

Petra Hofstedt, Ulrich John, Armin Wolf
MOC 2017 — 9. Workshop zur Deklarativen Modellierung und effizienten Optimierung komplexer Probleme 601

Sven Löffler, Ke Liu, Petra Hofstedt
The Power of Regular Constraints in CSPs 603

Ke Liu, Sven Löffler, Petra Hofstedt
Using Hypertree Decomposition for Parallel Constraint Solving 615

Simon Hacks, Horst Lichter
Optimizing Enterprise Architectures Using LIP 623

Fartash Zafari, Frank Teuteberg
Länder- und kulturspezifische Herausforderungen bei der Auswahl und Einführung von ERP-Systemen 637

Ulrich John
Deklarative Unternehmensmodelle — essentielle Bausteine Digitaler Unternehmen für optimierende Reorganisationen 653

Partizipatives Entwerfen soziotechnischer Systeme

Arne Berger, Andreas Bischof, Sören Totzauer, Kevin Lefeuvre, Michael Storz, Albrecht Kurze
Partizipatives Entwerfen Soziotechnischer Systeme 669

Juliane Jarke, Ulrike Gerhard
Co-creation eines digitalen Stadtteilwegweisers für und mit älteren Menschen 671

Pascal Meier, Jan Heinrich Beinke, Frank Teuteberg
Participatory Requirements Engineering — Using Factorial Surveys to understand Users' Attitude towards Emerging Technologies 677

Gabriele Bleser, Corinna A. Christmann, Bertram Taetz, Daniel Steffen, Alexandra Hoffmann, Markus Miezal
Identification of Medically Relevant Application Scenarios for A Wearable Motion Analysis System 691

Laura van de Sand, Aysegül Dogangün
Visualisierung von Datensicherheitsaspekten in Healthmonitoring-Apps . . 697

Matthias Wille, Peter Rasche, Christina Bröhl, Sabine Theis, Tobias Seinsch, Alexander Mertens
Partizipative Technikentwicklung: Entwurfsmuster als interdisziplinäre Lösungsschablonen zur ergonomischen Gestaltung sozio-technischer Systeme 701

Hasham Shahid Qureshi, Youssef Bagueri, Stefanie Boxhorn, Florian Breitinger, Janna Protzak, Rebecca Wiczorek
Umwelt-System-Mensch-Interaktion: Auswahl und Evaluation von Sensorik und Aktuator eines Fußgänger-Assistenzsystems für ältere Menschen im Straßenverkehr 713

Sebastian Reichel, Alexandra Weidemann, Diego Compagna, Raphael Deimel
Partizipatives Entwerfen zukünftiger Roboter 717

Mario Löhrer, Nenja Ziesen, Marco Saggiomo, Andrea Altepost, Niklas Strüver, Yves-Simon Gloy, Daniel Houben
SozioTex — An interdisciplinary research group 723

Robert Weidner, Andreas Argubi-Wollesen, Athanasios Karafillidis, Bernward Otten
Human-Machine Integration as Support Relation: Individual and Task-related Hybrid Systems in Industrial Production and Elderly Care — Approach, Development Procedure and Exemplary Technical Systems . . 729

Keys4All – Herausforderungen von Schlüsselverzeichnissen für die E-Mail-Verschlüsselung

Matthias Enzmann, Annika Selzer, Melanie Volkamer, Ulrich Waldmann
Keys4All — Herausforderungen von Schlüsselverzeichnissen für die E-Mail-Verschlüsselung 735

Peter Fischer, Thomas Kunz, Katharina Lorenz, Ulrich Waldmann
Verfahren zur vertrauenswürdigen Verteilung von Verschlüsselungsschlüsseln 737

Stephan Blazy, Susan Gonscherowski, Annika Selzer
Anforderungen des künftigen europäischen Datenschutzrechts an die vertrauenswürdige Verteilung von Verschlüsselungsschlüsseln 751

Sven Duscha, Bernhard Schmidt, Daniel Feuchtinger, Helmut Reiser
Einführung von DNSSEC und DANE im Bayerischen Hochschulnetz . . . 763

Dominik Spychalski, Levona Eckstein, Michael Herfert, Daniel Trick, Tatjana Rubinstein
Die Volksverschlüsselung 773

ZuGPM 2017 – Workshop zum Stand, den Herausforderungen und Impulsen des Geschäftsprozessmanagements

Michael Fellmann, Agnes Koschnmider, Ralf Laue, Andreas Schoknecht
Workshop zum Stand, den Herausforderungen und Impulsen des Geschäftsprozessmanagements (ZuGPM 2017) 789

Ingo Gringer
Digitalisierung dokumentbezogener Geschäftsprozesse 791

Erik Buchmann, Jürgen Anke
Privacy Patterns in Business Processes 793

Thomas Bauer
Anforderungen an vormodellierte Flexibilität für den Kontrollfluss von Geschäftsprozessen 799

Paul Herzog, Birger Lantow
Adaptive Case Management in sozialen Einrichtungen 815

Marco Deubel, Jürgen Moormann, Friedrich Holotiuk
Nutzung der Blockchain-Technologie in Geschäftsprozessen: Analyse am Beispiel des Zahlungsverkehrs 829

Bernhard M. Turban, Johannes Schmitz-Lenders
Musterbasierte Fragenchecklisten für Anforderungen aus modellierten Geschäftsprozessen 843

Gökhan Özcan, Andreas Drescher
Geschäftsprozessmanagement in global verteilten Produktentwicklungsprojekten 849

Sven Jannaber, Benedikt Zobel, Dennis M. Riehle, Oliver Thomas, Jörg Becker
Development of a Domain-Specific Language for Run-Time Process Modelling — Making Use of Smart Glasses in BPM 857

Michael Fellmann, Fabienne Lambusch, Anne Waller, Leonard Pieper, Theresa Hellweg
Auf dem Weg zum stresssensitiven Prozessmanagement: Grundlagen zu Stress, seiner Messung und zu Anwendungsfällen 863

SENSYBLE – Smart Systems for Better Living Environments

Ralf Dörner, Uwe Brinkschulte, Marcus Thoss, Adrian Ulges
Workshop 11: Smart Systems for Better Living Environments 873

Marcel Kneib and Christopher Huth
On the Fingerprinting of Electronic Control Units Using Physical Characteristics in Controller Area Networks 875

Melanie Brinkschulte
Locating an Acoustic Sound Source Using Low-Cost Hardware 883

Thomas Gietzen, Robert Brylka, Ulrich Schwanecke and Elmar Schömer
A Dense Statistical Model of Facial Soft Tissue Thickness 891

Daniel Andrés López, Benedikt Diensberg, Elmar Schömer, Ulrich Schwanecke
VCIT – Visually Corrected Inertial Tracking 899

Markus Eberts, Adrian Ulges
Deep Convolutional Neural Networks for Pose Estimation in Image-Graphics Search 907

Antonia Kampa, Ulrike Spierling
Smart Authoring for Location-based Augmented Reality Storytelling Applications 915

Ralf Dörner
Smart Assistive User Interfaces in Private Living Environments: Challenges and Perspectives 923

Matthias Scholz, Gunther Piller
Pattern Based Decision Tree Analysis for Risk Detection in Smart Cities . . 931

Peter Muth
Using Sensor Data of Widespread Smart Home Devices to Save Energy in Private Homes 939

Matthias Jurisch and Bodo Igler
Knowledge-Based Self-Organization of Traffic Control Systems 947

Band II

2nd GI/ACM Industry4.0 Security Standardisation Workshop on Industrial Automation and Control Systems (IACS)

Jan deMeer, Karl Waedt, Axel Rennoch
INFORMATIK 2017 WS#13: 2nd GI/ACM Industry4.0 Security Standardisation Workshop on Industrial Automation and Control Systems (IACS) 957

Yuan Gao, Robert Fischer, Simon Seibt, Mithil Parekh, Jianghai Li
Integrated Security Framework: Towards a Holistic Approach for Analysis, Simulation and Management of System Security Features 961

Venesa Watson, Asmaa Tellabi, Jochen Sassmannshausen, Xinxin Lou
Interoperability and Security Challenges of Industrie 4.0 973

Edita Bajramovic, Andreas Lainer
Forensic-Related Application Security Controls for RHEL in Critical Infrastructure 987

Jan deMeer, Jochen Link
On Industry4.0-Security Maturity, Indicators and Metrics semantically integrated by a Common SIEM Specification Language 1001

Xinxin Lou, Ines Ben Zid, Mithil Parekh, Yuan Gao
Semi-Formal Representation and Evaluation of Security Properties 1015

RuT2017 – Recht und Technik: Datenschutz im Diskurs

Christoph Sorge, Indra Spiecker gen. Döhmann, Rüdiger Grimm
Recht und Technik: Datenschutz im Diskurs 1021

Ninja Marnau
Die Blockchain im Spannungsfeld der Grundsätze der Datenschutzgrundverordnung 1025

Lisa Berkemeier, Mary-Rose McGuire, Sabrina Steinmann, Christina Niemöller, Oliver Thomas
Datenschutzrechtliche Anforderungen an Smart Glasses-basierende Informationssysteme in der Logistik 1037

Max Maass, Anne Laubach, Dominik Herrmann
PrivacyScore: Analyse von Webseiten auf Sicherheits- und Privatheitsprobleme – Konzept und rechtliche Zulässigkeit 1049

Sascha Alpers, Maria Pieper, Manuela Wagner
Herausforderungen bei der Entwicklung von Anwendungen zum Selbstdatenschutz 1061

Roman Matzutt, Dirk Müllmann, Eva-Maria Zeissig, Christiane Horst, Kai Kasugai, Sean Lidynia, Simon Wieninger, Jan Henrik Ziegeldorf, Gerhard Gudergan, Indra Spiecker gen. Döhmann, Klaus Wehrle, Martina Ziefle
myneData: Towards a Trusted and User-controlled Ecosystem for Sharing Personal Data 1073

Christoph Stach, Frank Dürr, Kai Mindermann, Saravana Murthy Palanisamy, Muhammad Adnan Tariq, Bernhard Mitschang, Stefan Wagner
PATRON — Datenschutz in Datenstromverarbeitungssystemen 1085

Modellierung4DH – Modellierungsfragen in den Digitalen Geisteswissenschaften

Andreas Henrich, Georg Hohmann, Sabine Bartsch, Piotr Kuroczyński
Workshop 15: Modellierung4DH — Modellierungsfragen in den Digitalen Geisteswissenschaften 1099

Christoph Kuras, Thomas Eckart
Prozessmodellierung mittels BPMN in Forschungsinfrastrukturen der Digital Humanities 1101

Tracy Hoffmann, Konstantin Freybe, Peter Mühleder
Workflows zur datenbasierten Videospielforschung Am Beispiel der populären Videospielserie Metal Gear Solid 1113

Tobias Gradl, Andreas Henrich
Explicating knowledge on data models through domain specific languages 1125

Martin Lichtwark, Holger Meyer, Andreas Heuer
Der Einsatz von NoSQL/Graphdatenbanken und Crowd Sourcing am Beispiel des Mecklenburgischen Flurnamenarchivs 1137

Robert Stephan, Meike Klettke
Speicherung bibliographischer Metadaten in relationalen und nicht-relationalen Datenbankmodellen 1149

Thomas Efer
Introducing NoXML for the Digital Humanities 1161

Norbert Luttenberger, Jesper Zedlitz, Torsten Knauf
Krümelmonsters Kochbuch — einige Gedanken zur domänenspezifischen Edition von Gebrauchstexten 1167

Nils Reiter, Jonas Kuhn, Marcus Willand
To GUI or not to GUI? 1179

Franziska Diehr, Maximilian Brodhun, Sven Gronemeyer, Katja Diederichs, Christian Prager, Elisabeth Wagner, Nikolai Grube
Modellierung eines digitalen Zeichenkatalogs für die Hieroglyphen des Klassischen Maya 1185

Tuan Anh Tran, Daniel Isemann
Modelling creative influence between artists and their works with OWL and CIDOC CRM 1197

Laura Albers, Peggy Große, Sarah Wagner
Semantische Datenmodellierung mit CIDOC CRM — Drei Fallbeispiele . 1209

VO-SoTeDIT – Value Oriented Sociotechnical Design of the Internet of Things

Nadine Kleine, Frank Pallas, Max-R. Ulbricht, Karsten Weber, Martina Zitterbart
Value-Oriented Socio-Technical Design of the Internet of Things 1223

Jan Heinrich Beinke, Pascal Meier, Hans-Peter Nickenig, Frank Teuteberg
Smart Home Predictive Analytics — Vernetzung von Menschen und Services im Internet der Dinge durch das Patientenortungssystem QuoLoco und die Plattform opta data one 1225

Andreas Bischof, Albrecht Kurze, Michael Storz, Sören Totzauer, Kevin Lefeuvre, Sebastian Jakob, Arne Berger
„Sensing Home“— Sensordaten für IoT-Produkte im Kontext Wohnen methodisch situieren 1237

Jan Grashöfer, Alexander Degitz, Oliver Raabe
UC-SDS: Exploration of Concepts and Values 1243

Torsten Merkel, Katrin Förster
Ethische Fragen bei der Verarbeitung personenbezogener Arbeits- und Leistungsdaten aus Wearables 1259

Axel Siegemund
„Digital India“: Accessibility und Usability als Ausdruck kollektiver Kommunikationsbedingungen im Internet of Things and Services (IoTS) . . 1267

IT-Rettung 2017: IT-Unterstützung in Emergency Management & Response

Jens Pottebaum, Christian Erfurth, Christian Reuter
IT-Rettung 2017: IT-Unterstützung in Emergency Management & Response . 1281

Hans Betke, Sebastian Lindner, Stefan Sackmann, Sophie Gerstmann
Informationssysteme im Katastrophenmanagement — Entwurf eines Koordinationssystems für ungebundene Helfer 1283

Milad Mirbabaie, Stefan Stieglitz, Patrick Kubat
Mobile Unterstützung für Hilfsorganisationen in Krisensituationen — Anforderungsanalyse und prototypische Umsetzung einer Smartwatch App . 1297

Hans Betke, Michael Seifert
BPMN for Disaster Response Processes — A methodical extension 1311

Marc-André Kaufhold, Christian Reuter, Thomas Ludwig, Simon Scholl
Social Media Analytics: Eine Marktstudie im Krisenmanagement 1325

Jens Pottebaum, Philipp Scholle, Iris Gräßler
Vorgehens- und Datenmodell zur strategischen Planung innovativer Dienstleistungen im Katastrophenschutz 1339

FDM2017 – Digitale Prozesse und Informationssysteme im Forschungsdatenman

Toralf Kirsten, Thomas Riechert, Leander Seige
Workshop Digitale Prozesse und Informationssysteme im Forschungsdatenmanagement (FDM2017) 1355

Jan-Patrick Weiß, Jens Rauch, Jens Hüsers, Jan-David Liebe, Frank Teuteberg, Ursula Hübner
Entwicklung eines Datenmodells für ein umfassendes Forschungsdatenmanagement zur flexiblen Analyse longitudinaler Daten . . 1357

Marius Politze, Bernd Decker, Thomas Eifert
A Process-Aware Architecture to Support Research Processes 1369

Toralf Kirsten, Alexander Kiel, Jonas Wagner, Mathias Rühle, Markus Löffler
Selecting, Packaging, and Granting Access for Sharing Study Data 1381

Der Arbeitsplatz der Zukunft 2.0

Jan Haase, Gerhard Leitner, Raphael Zender
Der Arbeitsplatz der Zukunft 2.0 1395

Piet Hausberg, Marcus Hülsdau, Krystallia Moysidou, Frank Teuteberg
Employees' Adoption of Workplace Innovations: An Investigation of Self-Efficacy, Motivation, Trust and Risk Propensity 1399

Veronika Huck-Fries, Florian Wiegand, Kai Klinker, Manuel Wiesche, Helmut Krcmar
Datenbrillen in der Wartung: Evaluation verschiedener Eingabemodalitäten bei Servicetechnikern 1413

Felix Meyer, Tanja Klocke-Wurm, Kai-Tobias Busse, Florian Kuhlmann, Jürgen Brehm, Martin Hoffmann
VeraPlan 1425

Gerhard Leitner, Anton Josef Fercher, Martin Hitz
Die Zukunft der HaushaltsarbeIT — Potenziale für den Zweitjob wider Willen 1437

Jan Haase
New Arrangement Opportunities and Safety Challenges for Offices of the Future 1447

ASE – 15. Workshop Automotive Software Engineering

Alejandro Masrur, Wolfram Hardt, Rocco Deutschmann
15. Workshop Automotive Software Engineering (ASE) 1459

Stefan Kugele et al.
Research Challenges for a Future-Proof E/E Architecture 1463

Christine Jakobs and Peter Tröger
Quo vadis, AUTOSAR? 1475

Manar Mazkatli, Erik Burger, Anne Koziolek, Ralf H. Reussner
Automotive Systems Modelling with Vitruvius 1487

Daniel Bischoff, Wolfgang Küchlin
Adapting Binary Decision Diagrams for Visualizing Product Configuration Data 1499

Christian King, Johannes Bach, Stefan Otten, Eric Sax
Identifikation von Fahrszenarien während einer virtuellen Testfahrt 1511

Norbert Englisch, Owes Khan, Roland Mittag, Felix Hänchen, Ariane Heller, Wolfram Hardt
YellowCar: Automotive Multi-ECU Demonstrator Platform 1517

Kenny Wehling, Ina Schaefer
Towards an Expert System for Identifying and Reducing Unnecessary Complexity of IT Architectures 1523

Norbert Englisch, Wolfram Hardt
Entwicklungsunterstützende Analysen und Tests für AUTOSAR Systeme . . . 1531

Norman Hansen, Norbert Wiechowski, Alexander Kugler, Stefan Kowalewski, Thomas Rambow, Rainer Busch
Model-in-the-Loop and Software-in-the-Loop Testing of Closed-Loop Automotive Software with Arttest 1537

Martin Beckmann and Andreas Vogelsang
Evaluation of a Specification Approach for Vehicle Functions 1551

Hariharan Venkitachalam, Kalkin Powale, Christian Granrath, Johannes Richenhagen
Automated Continuous Evaluation of AUTOSAR Software Architecture for Complex Powertrain Systems 1563

Owes Khan, Norbert Englisch, Wolfram Hardt
Rapid Prototyping in AUTOSAR Based Systems 1575

KASDL – Kontext-adaptive Software in Digitalen Lebenswelten

Dirk Habich, Sebastian Götz
KASDL — Kontext-adaptive Software in Digitalen Lebenswelten 1589

Dennis Kroll, Klaus David
Measuring the Capability of Smartphones for Executing Context Algorithms 1591

ITG-SIM – IT-Governance und Strategisches Informationsmanagement

Daniel F. Abawi, Matthias Goeken, André Miede
IT-Governance und Strategisches Informationsmanagement (ITG-SIM . . 1599

Marie Gruber, Jörg Hoffmann, Jürgen Karla
Methoden zum Management der IT-Komplexität — eine strukturierte Literaturanalyse 1601

Marlen Hofmann, Andreas Hofmann
ISMS-Tools zur Unterstützung eines nativen ISMS gemäß ISO 27001 1617

Stephan Kühnel
Toward a Conceptual Model for Cost-Effective Business Process Compliance 1631

Tobias Seyffarth, Stephan Kühnel, Stefan Sackmann
Welche Compliance-Anforderungen sind für Geschäftsprozessänderungen relevant? Ein Ansatz zur Modellierung der Beziehungen 1641

Ralf-Christian Härting, Christopher Reichstein, Philip Jozinovic
The Potential Value of Digitization for Business — Insights from German-speaking Experts 1647

CAAI4Games – Creating Advanced AI For Games

Marc Ritter, Alexander Marbach, Daniel Stockmann, Manuel Heinzig, Christian Roschke, Holger Langner
Creating Advanced Artificial Intelligence in Games (CAAI4GAMES) 1661

Christopher Käding, Holger Langner, Manuel Heinzig, Sebastian Schleier, Christian Roschke, Rico Thomanek, Marc Ritter
Verhaltensprofile zur Navigation von KI-Agenten in Unity® 1663

Tobias Bruch, Sophie De Smet, Justin Zwack, Alexander Marbach
Applying classic game production principles to game productions with short development times 1677

Hochschule 2027

Raphael Zender, Ulrike Lucke, Markus von der Heyde, Wolfgang Meyer
Hochschule 2027 1687

Markus Baum, Ingo Hengstebeck, Sarah Grzemski
Herausforderungen für den Support bei der Einführung eines neuen Campus-Management-Systems am Fallbeispiel RWTHonline 1689

Kevin Fuchs, Peter A. Henning
Visualizing Learning Behavior as Spatio-Temporal Trajectories 1703

Vera Meister, Jonas Jetschni, Sebastian Kreideweiß
Konzept und Prototyp einer dezentralen Wissensinfrastruktur zu Hochschuldaten für Mensch und Maschine 1717

Markus von der Heyde, Andreas Breiter
Process documentation as estimate for effective IT Governance 1733

Jannica Budde, Iris Neiske, Gudrun Oevel
Ausgestaltung einer sozio-technischen Infrastruktur für die Verbreitung und nachhaltige Verankerung von digitaler Lehre 1745

Markus von der Heyde, Gunnar Auth, Andreas Hartman, Christian Erfurth
Hochschulentwicklung im Kontext der Digitalisierung — Bestandsaufnahme, Perspektiven, Thesen 1757

BDSDST 2017 – 3rd International Workshop on Big Data, Smart Data and Semantic Technologies

Matthias Frank, Natalja Kleiner, Stefan Zander, Thomas Setzer, York Sure-Vetter, Rudi Studer
3rd International Workshop on Big Data, Smart Data and Semantic Technologies 1775

Andreas Diepenbrock, Florian Rademacher, Sabine Sachweh
An Ontology-based Approach for Domain-driven Design of Microservice Architectures 1777

Andreas Varwig, Friedemann Kammler, Oliver Thomas
Responding to the Forecast: Towards the Integration of Machine State Prediction and Required Maintenance Services 1793

Digitaler Journalismus (in postfaktischen Zeiten)

Rainer Lutze
Vorwort Workshop 28 — „Digitaler Journalismus (in postfaktischen Zeiten)“ 1809

Markus Kaiser
Virtual Reality, Live-Streaming & Co.: Wie digitaler Journalismus zu mehr Authentizität beiträgt 1811

Rainer Lutze, Michael Strzodka
Authentische Berichterstattung in einem journalistischen Mitmach-Medium 1823

Henrik Bortels, Nico Adam
Klasse statt Masse statt Klasse 1835

Thomas Kaspar
Intelligent Content im Publishing 4.0 1847

Lorenz Matzat
Automatisierte Personalisierung im Lokaljournalismus 1857

LEDSPLaY17

Natanael Arndt, André Langer, Michael Martin, Sebastian Tramp
LEDSPLaY17 1863

Roy Meissner, Marcus Kastner
A mapping approach for configuration management tools to close the gap between two worlds and to regain trust 1865

Natanael Arndt, Norman Radtke
A Method for Distributed and Collaborative Curation of RDF Datasets Utilizing the Quit Stack 1873

Andreas Varwig, Friedemann Kammler, Oliver Thomas
Smarte Datenintegration durch Benchmarking-as-a-Service — Vorschlag eines Vorgehensmodells zur Entwicklung eines unternehmensübergreifenden Informationssystems mittels Data Envelopment Analysis 1883

Jörg Unbehauen, Michael Martin
SparqlMap-Update 1891

André Langer, Michael Krug, Luis Moreno, Martin Gaedke
Utilizing Linked Data Structures for Social-aware Search Applications . . 1903

Konrad Abicht, Georges Alkhouri, Natanael Arndt, Roy Meissner, Michael Martin
CubeViz.js: A Lightweight Framework for Discovering and Visualizing RDF Data Cubes 1915

Konrad Abicht, Simeon Ackermann, Michael Martin
Discover Barrier-free Accessible Locations with the Location Navigator . 1923

Band III

UINW 2017 – 5. Workshop Umweltinformatik zwischen Nachhaltigkeit und Wandel

Stefan Naumann, Kristina Voigt, Eva Kern
5. Workshop: Umweltinformatik zwischen Nachhaltigkeit und Wandel (UINW 2017) 1935

Hendrik Buhl, Tim Dombrowski, Erik Julian Hogen, Maximilian Kreutz, Daniel Palm, Sanja Stark, Peer Vincent Stubbe, Stephanie Alexandra Warsch, Jörg Bremer, Sebastian Lehnhoff, Michael Sonnenschein
Ein Algorithmus für den Wiederaufbau eines Smart Grid nach einem Blackout 1937

Klaus Schlender, Oleg Abele, Grit Behrens
Visualisierung von 3D-Objekten mit automatischer Lokalisierung von Wärmebrücken in der Gebäudeaußenhülle 1949

Hans-Knud Arndt
Nachhaltige Gestaltung von Informations- und Kommunikationstechnik — Farben, Formen, Materialien 1961

Eva Kern
Umwelt- und Nachhaltigkeitsthemen für die breite Masse: Nachhaltigkeit in Internetunternehmen 1973

Felix Hemke, Volker Wohlgemuth
Integration von Usability-Methoden in Vorgehensmodelle der Softwareentwicklung im Kontext betrieblicher Umweltinformationssysteme 1985

Johanna Pohl, Matthias Finkbeiner
Digitalisation for sustainability? Challenges in environmental assessment of digital services 1995

Jana Götze, Elke Kreyßig, Peter Schmidt, Mathias Haase
Management von Daten im Rahmen des WISMUT-Umweltprojektes 2001

Andreas Solsbach, Barbara Rapp, Lutz Hüsken
Forschungsorientierte Lehre am Beispiel IKT-gestützter Nachhaltigkeitsberichterstattung 2007

Martina Willenbacher, Reimund Lepiorz, Volker Wohlgemuth
Serious Games, Umweltbewusstsein und Nachhaltigkeit 2017

Ali Akyol, Jantje Halberstadt, Kimberly Hebig, Jan Jelschen, Andreas Winter, Alexander Sandau, Jorge Marx Gómez
Flexible Software Support for Mobility Services 2027

Unternehmensarchitektur in Forschung und Praxis

Carsten Brockmann, Eldar Sultanow, Christian Czarnecki
Unternehmensarchitektur in Forschung und Praxis — eine Bestandsaufnahme 2041

Alina M. Chircu, Eldar Sultanow, Levent D. Sözer
A Reference Architecture for Digitalization in the Pharmaceutical Industry 2043

Daniel Szopinski, Bahar Jazayeri, Gregor Engels, Dennis Kundisch
On-The-Fly Computing: Ein Referenzmodell für individualisierte IT-Dienstleistungen in dynamischen Märkten 2059

Tom Baudis, Janek Czapowski, Achim Reiz, Matthias Wißotzki
Enterprise Architecture Management in kleinen und mittleren Unternehmen 2067

Dominik Schneider, Frank Wisselink, Christian Czarnecki
Transformation von Wertschöpfungsketten durch das Internet der Dinge — Bewertungsrahmen und Fallstudie 2081

Tim Piontek
Kollaboratives Management von Softwareprodukten im Rahmen von EAM 2095

Matthias Wißotzki
Der digitale Architekt — Methodenansatz zur Unterstützung der digitalen Innovation und Transformation 2107

Andreas Hartmann
Enterprise Architecture als Katalysator zwischen Qualität, Effizienz und Governance 2121

Marcus Grum, Christian Glaschke
Entwicklung einer Methode zur Priorisierung von Anforderungen unter Berücksichtigung von Synergieeffekten 2127

Deep Learning in heterogenen Datenbeständen

Danny Kowerko, Stefan Kahl
WS34 — Deep Learning in heterogenen Datenbeständen 2141

Winfried Lötzsch, Julien Vitay and Fred H. Hamker
Training a deep policy gradient-based neural network with asynchronous learners on a simulated robotic problem 2143

Lukas Galke, Ahmed Saleh and Ansgar Scherp
Word Embeddings for Similarity Scoring in Practical Information Retrieval 2155

Ahmed Saleh, Florian Mai, Chifumi Nishioka, Ansgar Scherp
Reranking-based Recommender System with Deep Learning 2169

S. Kahl, H. Hussein, E. Fabian, J. Schloßhauer, E. Thangaraju, D. Kowerko, M. Eibl
Acoustic Event Classification Using Convolutional Neural Networks 2177

Burkhard Meyer-Sickendiek, Hussein Hussein and Timo Baumann
Rhythmicalizer: Rhythmische Muster in Hörgedichten 2189

Danny Kowerko, Daniel Richter, Manuel Heinzig, Stefan Kahl, Stefan Helmert, Guido Brunnett
Human pose analysis evaluation 2201

Maik Benndorf, Frederic Ringsleben, Thomas Haenselmann, Bharat Yadav
Automated Annotation of Sensor data for Activity Recognition using Deep Learning 2211

Danny Kowerko, Robert Manthey, Stefan Kahl, Marcel Heinz, Thomas Kronfeld, Guido Brunnett
Generation of image data with hundreds of head poses 2221

Miriam Rößner, Stefan Kahl, Katrin Engelmann, Danny Kowerko
Preparing clinical ophthalmic data for research applications 2231

OSvCS FT – Digitalen Veränderungen auf der Spur: Open vs. Closed Source Forensic Tools

Roman Povalej
Workshop „Digitalen Veränderungen auf der Spur: Open vs. Closed Source Forensic Tools“ 2243

Daniel Spiekermann, Jörg Keller, Tobias Eggendorfer
Open Source Based Distributed Agents to Perform Digital Investigation in Virtual Environments 2245

Migration und Medien

Roksolana Pleshkanovska
WS38 Migration und Medien 2253

Axel Jacob, Frank Teuteberg
Social Media-basierte nachhaltige Geschäftsmodelle als Mittel zur Reduzierung des ökonomisch induzierten Migrationsdrucks — Eine Forschungsagenda für den Anwendungsbereich Ethical Fashion 2255

CSCOG – Computer Science & Cognition

Maria Wirzberger, Martina Truschzinski, René Schmidt, Maria Barlag
Computer Science meets Cognition 2273

Shirin Esmaeili Bijarsari, Maria Wirzberger, Günter Daniel Rey
Lernförderliche Gestaltung computerbasierter Instruktionen zur Roboterkonstruktion 2279

Maria Wirzberger, René Schmidt, Günter Daniel Rey, Wolfram Hardt
Einfluss von Systemdelay auf menschliche Gedächtnisleistung 2287

Martina Truschzinski
Modellierung und Vorhersage von mentaler Arbeitsbeanspruchung 2295

Robin Hirt, Nikolas Kühl
Abbildung kognitiver Fähigkeiten mit Metamodellen 2301

Qualitative und quantitative Ansätze in der UsabilityForschung

Ingmar Rothe, Benedikt Etzold
Qualitative und quantitative Ansätze in der Usability-Forschung 2311

Andreas Bischof
„Would the real ethnography please stand up?!“— Kritik der empirizistischen Ethnografie 2313

Andreas Fritsch, Stefanie Betz
Evaluation of Social Value Icons for a Domain-Specific Modeling Language 2323

Josephine Halama, Susen Döbelt
The Integration of Diverse User Data to derive User Requirements 2329

Andreas Mladenow, Christine Strauss
Eine kombinierte Web Usability Methode für Start-Up Unternehmen . . . 2335

Doktorandensymposium

Steffen Becker, Matthias Werner
Doktorandensymposium 2345

Mariem Ben Rehouma
The impact of participation on government employees' adoption of IT — Empirical research focusing on e-file 2347

Dominik Augenstein
Designing an intelligent Business Model Transformation Tool 2357

Fabian Burzlaff
Knowledge-driven Architecture Composition: On the usage of case-based formalization methods for reliable and automated component coupling . . 2365

Timo Schindler
Anomaly Detection using Graph Databases and Machine Learning 2371

Stephan Kühnel
Toward Cost-Effective Business Process Compliance: A Research Agenda 2379

Studierendenkonferenz Informatik 2017

Michael Becker, Judith Michael, Thomas Riechert, Johannes Schmidt
Studierendenkonferenz Informatik 2017 (SKILL 2017) 2387

Paul Jähne
Evolutionary algorithms for finding gen knockout targets 2389

Markus Nestmann
A Taxonomy for Parallel Programming Models 2401

Addis Dittebrandt, Michael König, Felix Neumeister
Towards a Shared Evaluation Environment for Software-defined Networking 2413

Jakob Bode, Matthias Sekul, Tobias Schülke
Verschlüsselte E-Mails auf mehreren Endgeräten 2425

Fabian Maschler, Fabio Niephaus, Julian Risch
Large-Scale Validation of Identity Leaks 2437

Andreas Dorn, Cedric Schweizer
Authentifizierte Zeitsynchronisation 2449

Saskia Uta Dübener, Anina Ambra Morgner, Hans Felix Haupt, Maximilian Hugo Volk, Chiara Chantal Fischer, Simon Konstantin Langner, Anton Jacker
Gegenüberstellung von kostengünstigen Robotern als Lernobjekte für Schulen 2461

Johannes Erbel
Declarative Cloud Resource ProvisioningUsing OCCI Models 2473

Sebastian Serth, Stephan Haarmann, Lukas Faber
Serving Live Multimedia for the Linked Open Data Cloud 2487

Daniela Bommarito
RE im Softwareentwicklungsprozess 2499

Hanna Holderied
Evaluation of Interaction Concepts in Virtual Reality Applications 2511

Isabel Hagen
Perception Virtuality 2525

Michael Dominik Görtz, Roland Kühn, Oliver Zietek, Roman Bernhard, Michael Bulinski, Dennis Duman, Benedikt Freisen, Uwe Jentsch, Tobias Klöppner, Dragana Popovic, Lili Xu
Energy Efficiency of a Low Power Cluster for HPC 2537

Jens Schloeter
A MCTS-based CDCL SAT Solver 2549

David Haller
Tsunami: Anfrage-getriebene Anbindung von Datenquellen an ein Datenmanagementsystem 2561

Jil Tietjen
Paralleler SAT-Solver mit Konfliktklauselbehandlung 2567

Maurice Funk
A system for SMT based constraint programming in Java 2575

Tutorien

Meinard Müller, Stefan Balke, Christof Weiß
Tutorial TUT01 „Automatisierte Methoden der Musikverarbeitung“ . . . 2583

Britta Meixner
Interaktive Multimedia-Anwendungen 2585

Siegfried Nolte
TUT03 MDA@Work – Prototyping mit MDA 2589

Henning Schwentner
Domain-Driven Design hands on 2593

Martin R. Wolf, Ute Wiese
Change Management für Informatiker — Theorie und Praxis für erfolgreiche Projekte 2595

Marc Ritter, Alexander Marbach, Daniel Stockmann, Manuel Heinzig, Christian Roschke, Holger Langner
Tutorial (TUT06) and Workshop (WS25) on Creating Advanced Artificial Intelligence in Games (CAAI4GAMES) 2599

Autorenverzeichnis

Workshops

Musik trifft Informatik

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 47

Workshop WS01 „Musik trifft Informatik“

Meinard Müller[1], Christian Dittmar

Mit der fortschreitenden Digitalisierung aller Lebensbereiche gewinnen technische Möglichkeiten heutiger EDV-Systeme bei der Verarbeitung von Musikdaten und in geisteswissenschaftlichen Disziplinen wie den Musikwissenschaften immer mehr an Bedeutung. Heutige digital vorliegende Musiksammlungen enthalten multimediale Dokumente in zahlreichen Ausprägungen und Formaten, die ein Musikwerk auf verschiedenen Ebenen semantischer Ausdruckskraft beschreiben. Man denke hier beispielsweise an CD-Aufnahmen diverser Interpreten, Noten, MIDI-Daten, Musikvideos oder Gesangstexte. Ein grundlegendes Ziel der automatisierten Musikverarbeitung besteht in der Nutzbarmachung umfangreicher, oft unstrukturiert und verteilt vorliegender Musikdatenbestände. Hierbei ist die Entwicklung effizienter Such- und Navigationssysteme, die es dem Benutzer erlauben, einen Datenbestand bezüglich unterschiedlichster musikrelevanter Aspekte zu durchsuchen, von zentraler Bedeutung.

Auch in den Musikwissenschaften haben sich durch Einsatz digitaler Formate und automatisierter Methoden neue Möglichkeiten eröffnet. Zum Beispiel konnten große Fortschritte bei der Entwicklung digitaler Notationsformate, wie in der Music Encoding Initiative (MEI) erzielt werden, die wiederum den Zugang zu großen Datenbeständen von Notentexten erleichtern. Darüber hinaus wurden unterschiedliche Algorithmen entwickelt, die die Analyse von Musikdaten unterstützen. Dies erlaubt oft eine gewisse Objektivierung und Quantizierung analytischer Sachverhalte durch die Anwendung statistischer Methoden. Weiterhin erlauben automatisierte Methoden eine Ausweitung der Analysen und einen systematischen Zugang zu umfangreichen Werken wie etwa Symphonien oder Opern oder zu größeren Werkbeständen (Korpusanalyse).

Der Workshop „Musik trifft Informatik“ gibt einen Überblick zu aktuellen Forschungsarbeiten auf dem Gebiet der Audio- und Musikverarbeitung. Hierbei wird ein interdisziplinärer Dialog zwischen der Informatik, den Musikwissenschaften und anderen Disziplinen angeregt. Insbesondere wird der Frage nachgegangen, inwieweit informatische Methoden gewinnbringend in Bereichen der Musikwissenschaften eingesetzt werden können und inwieweit musikwissenschaftliche Fragestellungen zu neuen Herausforderungen in der Informatik führen.

[1] International Audio Laboratories Erlangen, meinard.mueller@audiolabs-erlangen.de

doi:10.18420/in2017_01

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 49

Aktuelle Entwicklungen in der Automatischen Musikverfolgung

Andreas Arzt[1] und Matthias Dorfer[2]

Abstract: Diese Arbeit befasst sich mit aktuellen Entwicklungen in der automatischen Musikverfolgung durch den Computer. Dieser Prozess ist auch unter den Begriffen „Score Following“ oder „Real-time Music Tracking“ bekannt. Es handelt sich dabei um Algorithmen, die einer musikalischen Aufführung „zuhören“, das aufgenommene Audiosignal mit einer (abstrakten) Repräsentation des Notentextes vergleichen und sozusagen in diesem mitlesen. Der Algorithmus kennt also zu jedem Zeitpunkt die Position der Musiker im Notentext. Diese Information erlaubt die Realisierung einer Reihe von Anwendungen, zum Beispiel der automatischen Musikvisualisierung und der automatischen Begleitung. Neben der Vermittlung eines generellen Überblicks, liegt der Schwerpunkt dieser Arbeit auf der Beleuchtung des Aspekts der Flexibilität und der einfacheren Nutzbarkeit dieser Algorithmen. Es wird dargelegt, welche Schritte getätigt wurden (und aktuell getätigt werden) um den Prozess der automatischen Musikverfolgung einfacher zugänglich zu machen. Dies umfasst Arbeiten zur automatischen Identifikation von gespielten Stücken und deren flexible Verfolgung ebenso wie aktuelle Ansätze mithilfe von Deep Learning, die es erlauben Bild und Ton direkt zu verbinden, ohne Umwege über abstrakte und nur unter großem Zeitaufwand zu erstellende Zwischenrepräsentationen.

Keywords: Automatische Musikverfolgung, Score Following, Music Tracking

1 Einleitung

Diese Arbeit beschäftigt sich mit der automatischen Verfolgung von Musik durch Computeralgorithmen – ein Prozess, der auch unter den Begriffen „Score Following“ und „Music Tracking“ bekannt ist. Das Ziel dieses Prozesses ist es, eine Aufführung von (vornehmlich klassischer) Musik mit dem zugrundeliegenden Notentext abzugleichen und sozusagen in diesem live mitzulesen.

Es handelt sich dabei also um Algorithmen, die einer musikalischen Aufführung „zuhören“, das Audiosignal verarbeiten, es mit einer abstrakten Repräsentation des Notentextes vergleichen und diese beiden Zeitreihen (das Audiosignal und den Notentext) miteinander synchronisieren („alignen“). Der Algorithmus berechnet zu jedem Zeitpunkt die Position der Musiker im Notentext. Mithilfe dieser Information lassen sich eine Reihe von Anwendungen realisieren, zum Beispiel automatische Begleitsysteme und die automatische Synchronisation von Medien wie Bild und Text zu der live gespielten Musik für künstlerische Zwecke.

[1] Austrian Research Institute for Artitifical Intelligence, andreas.arzt@ofai.at
[2] Johannes Kepler University Linz, Department of Computational Perception, matthias.dorfer@jku.at

doi:10.18420/in2017_02

Die ersten Arbeiten zur automatischen Musikverfolgung wurden in den 1980er Jahren veröffentlicht (siehe [Da84, Ve84]). Diese Ansätze waren der Idee eines automatischen Begleitsystems verbunden und basierten noch auf symbolischem Input (sowohl der Notentext als auch die musikalische Aufführung werden als Zeichenketten repräsentiert) und Stringmatchingalgorithmen, um diese beiden Informationen zu synchronisieren. Die Notwendigkeit von symbolischen Daten der musikalischen Aufführung war eine große Einschränkung, da diese Algorithmen somit nur mit speziellen Instrumenten verwendbar waren. Deshalb trat diese Art des Verfolgens von Musik etwas in den Hintergrund (Ausnahmen sind beispielsweise [Na15, Xi16]). Stattdessen liegt der Fokus aktuell hauptsächlich auf Systemen, die direkt auf dem Audiosignal der musikalischen Aufführung das Problem der automatischen Musikverfolgung zu lösen versuchen.

Die meisten aktuellen Verfahren basieren auf diversen Variationen von probabilistischen Modellen, beispielsweise auf Hidden Markov Modellen [Ra10, Ra01, Ra09, OD01, Or03, Co06] und verwandten Modellen [Co10, DP11, LD15], Conditional Random Fields [SYK14, YSK13] und Partikelfiltern [Ko13, MC11, Ot11]. Eine Ausnahme stellen Musikverfolgungssysteme basierend auf Dynamic Time Warping (DTW) dar [AWD08, Ar16].

All diesen Systemen ist gemein, dass sie relativ inflexibel sind und die Aufbereitung der für die automatische Verfolgung notwendigen Daten zeitaufwändig ist. Wir werden diese Problematiken in Kapitel 2 detaillierter diskutieren. Daraufhin werden in den Kapiteln 3 und 4 zwei aktuelle Entwicklungen beschrieben, die auf einfachere und flexiblere Verwendung von Musikverfolgungsalgorithmen abzielen. Schließlich werden wir in Kapitel 5 den aktuellen Stand der Forschung nochmals kurz diskutieren und einen Ausblick auf kommende Herausforderungen geben.

2 Präzision vs. Flexibilität in der Automatischen Musikverfolgung

In den letzten Jahren lassen sich zwei Trends im Bereich der Musikverfolgung identifizieren, die auch stark von den jeweiligen Anwendungsgebieten der Algorithmen beeinflusst werden. Einerseits ist dies die Anwendung des *automatischen Begleitens*, und andererseits die *automatische Synchronisation von Visualisierungen*.

Automatische Begleitung hat zum Ziel zur Aufführung eines Solomusikers automatisch Begleitelemente (einzelne Effekten oder die Simulation eines kompletten Orchesters) zu synchronisieren (siehe zum Beispiel [Co10, Ra09]). In diesem Fall ist das Ziel Präzision, beziehungsweise sogar die Vorhersage von Ereignisse, da selbst kleine Abweichungen sich als hörbare Fehler in der Aufführung manifestieren würden.

Um die notwendige Präzision für automatische Begleitung zu erzielen, ist die adäquate Aufbereitung des Notentextes unumgänglich. Dieser muss in einer symbolischen Repräsentation vorliegen, die es erlaubt die erwartete Aufführung des Stückes so exakt wie möglich zu modellieren. Dies umfasst die Definition der Struktur (beispielsweise die genaue Festlegung,



Abb. 1: Impressionen eines Experiments im Rahmen eines regulären Konzertes im Concertgebouw in Amsterdam. Links: Blick vom Kontrollraum auf die Bühne (während einer Orchesterprobe); Rechts: Zur Musik synchronisierter Notentext, angezeigt auf persönlichen Tabletcomputern im Publikum (aus [Ar15]).

welche Wiederholungen gespielt oder ausgelassen werden) ebenso wie die Modellierung von komplexeren Konzepten wie Trillern oder Glissandi, deren spezifische Ausführung nicht explizit durch den Notentext definiert wird (beispielsweise ist die Anzahl der Noten, die ein Triller umfasst, nicht per se festgelegt). In einigen Fällen ist die Erstellung der symbolischen Beschreibung direkt Teil des Kompositionsprozesses – die Komposition wird also bereits in Kombination mit dem spezifischen Musikverfolgungsalgorithmus erarbeitet [CCG14].

Diese Modelle werden speziell auf die geplante Aufführung abgestimmt. Dies geschieht normalerweise indem die Parameter des Modells auf einer Reihe von Probeaufführungen, die möglichst ähnlich der tatsächlichen Aufführung sein sollten, optimiert werden. Ein automatisches Begleitsystem für ein bestimmtes Stück beziehungsweise eine spezielle Aufführung vorzubereiten ist also ein komplexer und zeitaufwändiger Prozess.

Wie bereits erwähnt, ist das zweite große Anwendungsgebiet die *automatische Synchronisation von Visualisierungen* zur Musik. Dies umfasst beispielsweise die Anzeige eines zur Musik synchronisierten Notentextes (inklusive automatischem Umblättern) ebenso wie Medien wie Text, Bild oder Video, die dem Publikum im richtigen Moment präsentiert werden, um einen künstlerischen Mehrwert zu generieren oder einen weiterbildenden Effekt zu erzielen (siehe Abbildung 1, die Impressionen eines Tests einer solchen Anwendung im Concertgebouw in Amsterdam zeigt [Ar15]). Hier ist Präzision zwar noch immer eine wünschenswerte Eigenschaft, aber nicht notwendigerweise im selben Ausmaße. Um zum Beispiel automatisch den Notentext synchronisiert zur Musik anzuzeigen und umzublättern sind normalerweise Abweichungen im Bereich von einigen hundert Millisekunden durchaus akzeptabel.

Während also ein gewisses Maß an Genauigkeit natürlich weiter erforderlich ist, treten andere Aspekte ebenso in den Vordergrund. Von generellem Interesse ist beispielsweise die Reduktion des Aufwandes, der notwendig ist, um einen Notentext für die automatische Musikverfolgung aufzubereiten. Ein wichtiger Aspekt in vielen Anwendungen ist auch die Flexibilität im Umgang mit der Aufführung an sich. Nützlich kann beispielsweise ein

Algorithmus sein, der „ungeplante“ Abweichungen des Musikers vom Notentext (wie das Auslassen einer Wiederholung) erkennt und dynamisch darauf korrekt und so schnell wie möglich reagiert. In dieser Arbeit werden wir nun das Streben nach Präzision, und damit die Arbeit an automatischen Begleitsystemen, außer Acht lassen und stattdessen zwei aktuelle Forschungsrichtungen zum flexiblen Musikverfolgen genauer betrachten.

Die erste Forschungsrichtung, beschrieben in Kapitel 3, beschäftigt sich mit der Frage nach Flexibilität während einer musikalischen Performance. Wir werden hier einen Ansatz zusammenfassen, der in der Lage ist innerhalb weniger Sekunden Musikstücke zu identifizieren. Damit wird ein Musikverfolgungssystem realisiert, das flexibles Verfolgen auf Basis einer großen Datenbank an Notentexten erlaubt.

Die zweite Forschungsrichtung, präsentiert in Kapitel 4, setzt noch einen Schritt früher an und versucht den Vorverarbeitungsprozess, der klassischerweise notwendig ist um den Notentext für automatische Musikverfolgung aufzubereiten, obsolet zu machen. Dazu werden Verfahren des maschinellen Lernens verwendet, um direkt Korrespondenzen zwischen Bilddaten und Audiosignalen zu lernen. Die präsentierten Ansätze stecken zwar noch in den Kinderschuhen, sind aber erste wichtig Schritte hin zu unserer Vision von einfacher Nutzung von automatischer Musikverfolgung für jedermann: eine Anwendung auf einem (mobilen) Endgerät, die anhand von Fotos von Seiten von Notentexten in der Lage ist, ohne jedweden manuellen Eingriff, eine Aufführung zu verfolgen.

3 Ein flexibles Musikverfolgungssystem basierend auf einer Datenbank symbolischer Notentexte

Der Prozess des automatischen Musikverfolgens ist normalerweise relativ starr definiert. Es wird ein definiertes Stück von Anfang bis Ende verfolgt, wobei keine strukturellen Abweichungen erlaubt sind. Ein flexiblerer Ansatz wird in [Ar16] vorgestellt.

Dieses System basiert auf einer Datenbank von symbolischen Notentexten klassischer Klaviermusik und enthält unter anderem alle Sonaten Mozarts und Beethovens, sowie Chopins Gesamtwerk für Soloklavier (insgesamt mehr als eine Million Noten). Es erlaubt flexible Musikverfolgung auf der gesamten Datenbank von Stücken und kann automatisch das Stück, sowie die exakte Position innerhalb des Stückes erkennen und dann der Aufführung folgen. Ebenso kann es beliebige Sprünge innerhalb eines Stückes und auch zu anderen Stücken detektieren und die korrekte Position wiederfinden. Es kann also jeder Aktion des Musikers / der Musikerin innerhalb dieser Datenbank von Notentexten folgen.

Abbildung 2 skizziert die Funktionsweise dieses Systems. Das Erkennen der Position über alle in der Datenbank vorhandenen Notentexte wird durch eine Kombination aus einem Musiktranskriptionsalgorithmus [BS12] (dieser Algorithmus ist auf Klaviermusik trainiert und schränkt somit die Anwendung des Systems auf ebendiese ein) und einem tempo-invarianten musikalischen Fingerprinting-Algorithmus [ABW12] realisiert. Zuerst

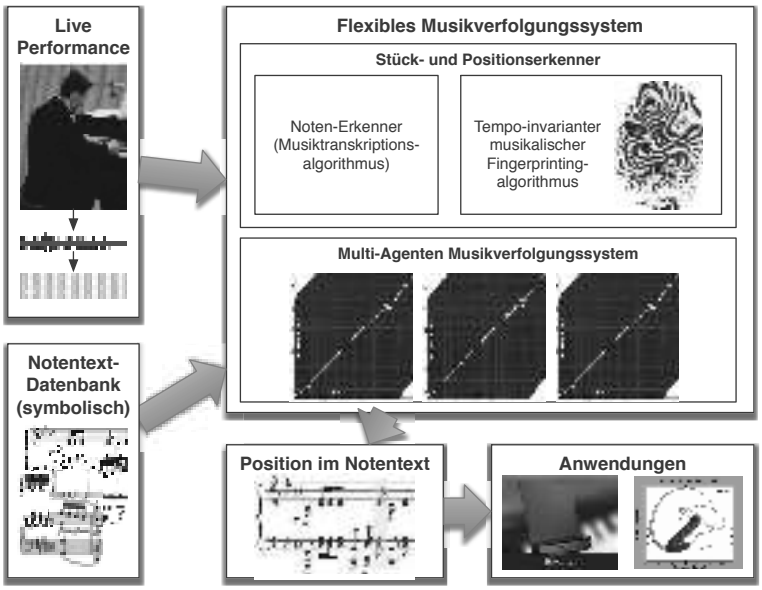


Abb. 2: Schematische Darstellung des flexiblen Musikverfolgungssystems (adaptiert von [Ar16]).

übersetzt der Transkriptionsalgorithmus das Audiosignal der Aufführung in eine Sequenz symbolischer Information (eine Liste von Tonhöhen inklusive deren Beginnzeiten). Mithilfe des Fingerprinting-Algorithmus wird die Datenbank von symbolischen Notentexten nach zum aktuellen Kontext in der Aufführung möglichst ähnlichen Ausschnitten durchsucht. Dieser Prozess läuft dauerhaft im Hintergrund und berechnet Hypothesen, die durch das Multiagenten-Musikverfolgungssystem weiterverarbeitet werden.

Das Multiagenten-Musikverfolgungssystem basiert auf mehreren Instanzen eines Musikverfolgungssystems, das Audio-zu-Audio Alignment mithilfe einer Echtzeitversion des Dynamic Time Warping Algorithmus realisiert [Di05, AWD08, Ar16]. Dieses übernimmt die Positionshypothesen und versucht die musikalische Aufführung anhand dieser Notentextpositionen mitzuverfolgen. Falls es sich bei einer Hypothese um die korrekte Position handelt, wird dies zu geringen Alignmentkosten führen, während der Versuch dies anhand einer inkorrekten Position zu tun zu hohen Kosten führen wird. Zu jedem Zeitpunkt wird die Instanz des Verfolgungsalgorithmus, die die geringsten Alignmentkosten verursacht, als aktiv markiert – sie repräsentiert also die aktuelle Positionshypothese des Systems über alle Stücke in der Datenbank.

Dieses System erlaubt flexibles automatisches Musikverfolgen anhand einer großen Sammlung von (symbolischen) Notentexten klassischer Klaviermusik. Neben Anwendungen für Musiker, wie unterstützende Übungssysteme, bietet es sich an, diese Algorithmen als

Grundgerüst für mobile Anwendungen für Konsumenten klassischer Musik zu nutzen. Beispielsweise ließe sich eine App realisieren, die dem Liebhaber klassischer Klaviermusik vollkommen autonom Zusatzinformationen zur Musik liefert. Diese Anwendung könnte automatisch erkennen welches Stück gespielt wird und den Notentext und künstlerische oder weiterbildende Visualisierungen (etwa die Struktur des Stückes oder Informationen über wichtige musikalische Themen) einblenden. Falls das Stück entsprechend aufbereitet wurde, könnten historische Hintergrundinformation über den Komponisten und das Stück bereitgestellt werden. Ebenso könnte auf weitere berühmte Interpretation des Stücks (und deren Bezugsquellen) hingewiesen werden.

4 Automatische Musikverfolgung direkt anhand des graphischen Notentextes

Ein großes Hindernis, das einer weiter verbreiteten Verwendung von automatischer Musikverfolgung im Weg steht, ist der immense Zeitaufwand der notwendig ist, um die Notentexte für den Verfolgungsprozess aufzubereiten. Der größte Aufwand wird durch die Erstellung beziehungsweise Aufbereitung einer symbolischen Beschreibung des Notentext (zum Beispiel MusicXML oder auch MIDI) verursacht. Diese Beschreibung ist notwendig um den Notentext exakt modellieren zu können.

Es gibt zwar automatische Verfahren via sogenannter Optical Music Recognition (OMR) Algorithmen um aus dem graphischen Notentext diese symbolische Repräsentation zu extrahieren, diese sind aber momentan nur sehr eingeschränkt für komplexere Notentexte geeignet [We15, Ha16, BS15, Re12]. Ein Versuch den Notentext für das zur automatischen Musikverfolgung verwandte Gebiet des Audio Alignment via OMR aufzubereiten, ist in [Ku07] beschrieben.

In diesem Kapitel wird ein neuer Ansatz vorgestellt, der komplett auf jedwede Zwischenrepräsentation verzichtet und direkt auf dem graphischen Notentext arbeitet. Der Ansatz basiert auf aktuellen Forschungsergebnissen aus dem Bereich der künstlichen Intelligenz, genauer gesagt auf künstlichen neuronalen Netzen, welche auch unter dem Schlagwort „Deep Learning“ populär geworden sind. Die angesprochenen Fortschritte im maschinellen Lernen machen es möglich Korrespondenzen zwischen Audiodaten (der musikalischen Aufführung) und Bilddaten (dem Notentext) *direkt* zu lernen. Diese Algorithmen lernen also gleichzeitig einen Notentext zu „lesen“, Musik zu „hören“, und das Gelesene und Gehörte miteinander in Beziehung zu setzen. Die neuronalen Netze erlernen diesen Vorgang rein durch Training anhand von Beispielen.

Nachfolgend werden wir zwei unterschiedliche, komplementäre Ansätze vorstellen, die beide dieses Paradigma verfolgen: Automatische Musikverfolgung via Audio-zu-Notentext Matching (siehe Kapitel 4.1) und Automatische Musikverfolgung via Multi-Modalen Joint Embedding Spaces (siehe Kapitel 4.2).

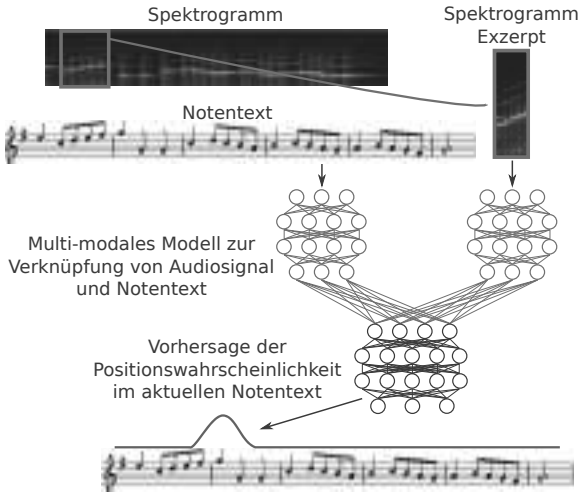


Abb. 3: Schematische Darstellung des automatischen Musikverfolgungsprozesses via Audio-zu-Notentext Matching. Die beiden oberen, getrennten Teile des multi-modalen Netzes verarbeiten die jeweilige Modalität (Notentext und Audio). Der untere Teil des Netzes führt beide Modalitäten zusammen und sagt die Positionswahrscheinlichkeit im aktuellen Notentext vorher.

Beide Arbeiten sind noch frühe Prototypen und wurden bisher hauptsächlich mit aus MIDI Dateien synthetisierten Audiodaten (via Klaviersoundfonts) trainiert und getestet. Nichtsdestotrotz handelt es sich um vielversprechende Ansätze, die in einigen Jahren automatische Musikverfolgung für jedermann zugänglich machen könnten. Anstelle einer komplizierten Datenaufbereitung würde es ausreichen direkt auf einem mobilen Endgerät den Notentext zu fotografieren. Ohne weitere manuelle Eingriffe könnte danach das Musikverfolgen gestartet werden.

4.1 Automatische Musikverfolgung via Audio-zu-Notentext Matching

Die Idee dieses Ansatzes ist gleichzeitig den aktuellen Kontext im Audiosignal und ein Bild des Notentextes zu verarbeiten und in Beziehung zueinander zu setzen. In [DAW16] wurden erste Versuche auf sehr reduzierter Klaviermusik (monophoner Notentext und monophones Audiosignal) beschrieben. Ein Schema dieses Ansatzes ist in Abbildung 3 zu sehen. Da eine genaue Beschreibung des Algorithmus den Rahmen dieser Arbeit sprengen würde, skizzieren wir nachfolgend seine generelle Funktionsweise.

Das zentrale Element dieses Ansatzes sind zwei parallele Convolutional Neural Networks, je eines für die Audioeingabedaten beziehungsweise den Notentext. Diese beiden Netze lernen abstrakte interne Repräsentationen der jeweiligen Modalität die im Anschluss durch einen gemeinsam Layer miteinander verbunden werden. Das Ziel dieses multimodalen Netzwerks

ist es, eine Wahrscheinlichkeitsverteilung abzuschätzen, die den aktuellen Audiokontext in Relation zum Notentext setzt – also wiedergibt, wie wahrscheinlich der gegebene Ausschnitt an Audiodaten den jeweiligen Positionen im Notentext entspricht. Gegeben diese Verteilung kann die aktuelle Position durch finden des Maximums dieser Verteilung berechnet werden.

4.2 Automatische Musikverfolgung via Multi-Modalen Joint Embedding Spaces

Der zweite auf multi-modalen neuronalen Netzen basierende Ansatz ist enger mit der flexiblen Musikverfolgung, wie in Kapitel 2 vorgestellt, verwandt. Hier wird das Problem des Findens von Korrespondenzen zwischen Audiodaten und Bilddaten vom Blickpunkt einer Retrievalaufgabe zwischen den beiden Modalitäten betrachtet [DAW17].

Während des Trainings werden dem neuronalen Netz wieder Paare von kurzen Audiodaten und Ausschnitten von Bildern von Notentexten präsentiert. Allerdings wird in diesem Ansatz versucht beide Modalitäten in einem gemeinsamen Einbettungsraum („Embedding Space“) zu repräsentieren. Dazu werden während des Trainings für beide Modalitäten Projektionen (in unserem Fall nichtlineare Projektionen mittels neuronaler Netze) mit folgender Eigenschaft gelernt: Die Projektionen (Einbettungskoordinaten) zusammengehöriger Audio- und Bilddaten sollen kleine Distanzen zueinander aufweisen, wohingegen die Projektionen nicht korrespondierender Paare möglichst weit auseinander liegen sollen. Abbildung 4 skizziert die Architektur dieses Retrievalnetzwerks wobei $f(\mathbf{a}, \Theta_f)$ und $g(\mathbf{i}, \Theta_g)$ die Projektionen von Audio $\mathbf{a}$ und Bildausschnitt $\mathbf{i}$ in den Einbettungsraum bezeichnen. Θ_f und Θ_g sind die Parameter der jeweiligen Netze. Um die oben beschriebenen Lagebeziehungen zwischen den Projektionen von korrespondierenden und nicht korrespondierenden Paaren zu erreichen, werden die Netzwerke dahingehenden optimiert, einen auf Kosinusdistanz basierenden *paarweisen Rankingfehler* zu minimieren (für eine detaillierte Beschreibung dieses Optimierungsvorgangs verweisen wir auf [DAW17]).

Nach dem Training können beide Projektionen unabhängig voneinander verwendet werden. Zum Beispiel kann zuerst eine Referenzdatenbank bestehend aus Bildern von Notentexten mithilfe der gelernten Projektion f für Notentextbilder in diesen Einbettungsraum projiziert werden. Danach kann eine Audioabfrage mithilfe der Projektion g für die Audiodaten in denselben Raum transferiert werden. Auf Basis der oben beschriebenen Distanz (bzw. Lage) Eigenschaften kann der Raum nun mittels Kosinusdistanz nach Notentextausschnitten, die der Audioabfrage ähnlich sind, durchsucht werden. Abbildung 5 skizziert diesen Vorgang.

Dieses Szenario ist in der Literatur auch als Cross-Modality Retrieval bekannt. Um damit automatische Musikverfolgung zu realisieren, wird zuerst der Notentext (oder, wie in der flexiblen Musikverfolgen in Kapitel 2 eine Sammlung von Notentexten) in den Suchraum eingebettet. Während der Aufführung wird der aktuelle Audiokontext laufend als Abfrage verwendet. Das tatsächliche Musikverfolgen findet dann durch die zeitliche Analyse der Abfrageergebnisse analog zu traditionellen Ansätzen (etwa mithilfe von DTW) statt.

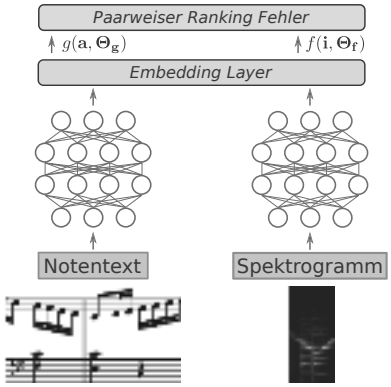


Abb. 4: Architektur des Retrievalnetzwerks. Das Netzwerk wird mit dem Ziel die Ähnlichkeit von korrespondierenden Paaren von Audio- und Notentextdaten zu maximieren trainiert. Dies wird durch das Minimieren eines paarweisen Rankingfehlers erreicht.

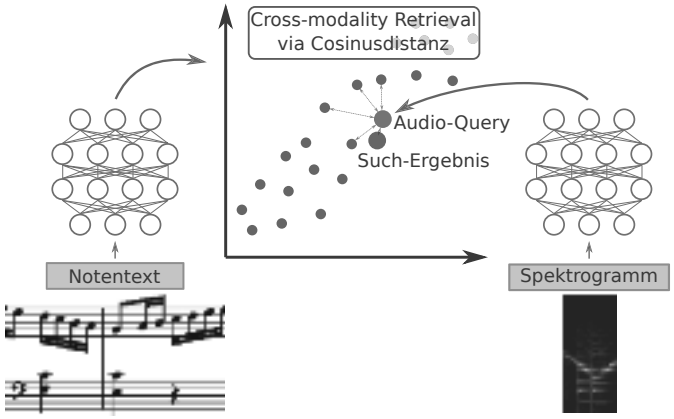


Abb. 5: Der Retrievalprozess. Blaue Punkte repräsentieren eingebettete Notentextinstanzen. Der rote Punkt symbolisiert die Projektion der Audioabfrage in ebendiesen Raum. Der große blaue Punkt ist die Notentextinstanz, die der eingebetteten Audioabfrage am nächsten ist.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Diese Arbeit beschäftigt sich mit flexiblen Algorithmen zur automatischen Musikverfolgung. Zum einen wurde eine Methode diskutiert, die flexibles Verfolgen basierend auf einer Datenbank von Notentexten erlaubt. Diese Methode ist bereits robust genug um komplexe Klaviermusik zu verfolgen und könnte als Grundgerüst für (mobile) Anwendungen verwendet werden. Zum anderen wurden in dieser Arbeit Ansätze diskutiert, die es erlauben automatische Musikverfolgung flexibler einzusetzen, indem die aufwändige explizite Erstellung einer symbolischen Repräsentation vermieden wird. Hierzu wurden zwei miteinander

verwandte Methoden beschrieben, die direkte Korrespondenzen zwischen Bilddaten des Notentextes und Audiodaten einer Aufführung automatisch lernen. Dies bedeutet, dass die Qualität des gelernten Modells stark von der Anzahl und Qualität der verfügbaren Trainingsdaten abhängt. Die Erweiterung dieses Trainingsdatensatzes hat also hohe Priorität um noch generellere Modelle zur Verbindung von Audio- und Bilddaten zu trainieren. Das Hauptziel dieser Vergrößerung und Diversifizierung des Trainingsdatensatzes ist es diesen Ansatz auch mit Audiodaten von tatsächlichen Aufführungen klassischer Klaviermusik (beziehungsweise zu einem späteren Zeitpunkt beliebiger klassischer Musik) verwenden zu können – bisher wurden diese Modelle wie erwähnt mit aus MIDI generierten Audiodaten getestet. Dies ist nicht trivial, da die neuronalen Netze dazu lernen müssen mit Herausforderungen wie asynchronen Notenonsets innerhalb eines Akkords, die Verwendung der Pedale des Klavieres und variierende Dynamik entsprechend zu modellieren. Die bisherigen Ergebnisse sowie der potentielle Nutzen eines generellen notentextbasierten automatischen Musikverfolgungssystems deuten für uns jedoch darauf hin, dass es vielversprechend ist diese Forschungsrichtung verstärkt zu verfolgen.

Acknowledgements

Diese Arbeit wurde von den österreichischen Bundesministerien BMVIT und BMWFW und dem Bundesland Oberösterreich (COMET Center SCCH) sowie von der Europäischen Union (European Research Council, ERC Grant Agreement 670035, project CON ESPRESSIONE) unterstützt. Die Tesla K40, die für diese Arbeit verwendet wurde, wurde von der NVIDIA Corporation bereitgestellt.

Literaturverzeichnis

[ABW12] Arzt, Andreas; Böck, Sebastian; Widmer, Gerhard: Fast Identification of Piece and Score Position via Symbolic Fingerprinting. In: Proceedings of the International Society for Music Information Retrieval Conference (ISMIR). Porto, Portugal, S. 433–438, 2012.

[Ar15] Arzt, Andreas; Frostel, Harald; Gadermaier, Thassilo; Gasser, Martin; Grachten, Maarten; Widmer, Gerhard: Artificial Intelligence in the Concertgebouw. In: Proceedings of the International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI). Buenos Aires, Argentina, S. 2424–2430, 2015.

[Ar16] Arzt, Andreas: Flexible and Robust Music Tracking. Dissertation, Johannes Kepler University, Linz, Austria, 2016.

[AWD08] Arzt, Andreas; Widmer, Gerhard; Dixon, Simon: Automatic Page Turning for Musicians via Real-Time Machine Listening. In: Proceedings of the European Conference on Artificial Intelligence (ECAI). Patras, Greece, S. 241–245, 2008.

[BS12] Böck, Sebastian; Schedl, Markus: Polyphonic piano note transcription with recurrent neural networks. In: Proceedings of the IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP). Kyoto, Japan, S. 121–124, 2012.

[BS15] Byrd, Donald; Simonsen, Jakob Grue: Towards a standard testbed for optical music recognition: Definitions, metrics, and page images. Journal of New Music Research, 44(3):169–195, 2015.

[CCG14] Coffy, Thomas; Cont, Arshia; Giavitto, Jean-Louis: AscoGraph: A User Interface for Sequencing and Score Following for Interactive Music. In: Proceedings of the International Computer Music Conference (ICMC). Athens, Greece, 2014.

[Co06] Cont, Arshia: Realtime Audio to Score Alignment for Polyphonic Music Instruments, using Sparse Non-Negative Constraints and Hierarchical HMMS. In: Proceedings of the IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP). Toulouse, France, S. 245–248, 2006.

[Co10] Cont, Arshia: A Coupled Duration-Focused Architecture for Real-Time Music-to-Score Alignment. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 32(6):974–987, 2010.

[Da84] Dannenberg, Roger B.: An On-Line Algorithm for Real-Time Accompaniment. In: Proceedings of the International Computer Music Conference (ICMC). Paris, France, S. 193–198, 1984.

[DAW16] Dorfer, Matthias; Arzt, Andreas; Widmer, Gerhard: Towards score following in sheet music images. In: Proceedings of the International Society for Music Information Retrieval Conference (ISMIR). S. 789–795, 2016.

[DAW17] Dorfer, Matthias; Arzt, Andreas; Widmer, Gerhard: Learning Audio-Sheet Music Correspondences for Score Identification and Offline Alignment. In: Proceedings of the International Society for Music Information Retrieval Conference (ISMIR). 2017.

[Di05] Dixon, Simon: An On-Line Time Warping Algorithm for Tracking Musical Performances. In: Proceedings of the International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI). Edinburgh, Scotland, S. 1727–1728, 2005.

[DP11] Duan, Zhiyao; Pardo, Brian: A state space model for on-line polyphonic audio-score alignment. In: Proceedings of the IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP). Prague, Czech Republic, S. 197–200, 2011.

[Ha16] Hajič jr, Jan; Novotnỳ, Jirı; Pecina, Pavel; Pokornỳ, Jaroslav: Further Steps towards a Standard Testbed for Optical Music Recognition. In: Proceedings of the International Society for Music Information Retrieval Conference (ISMIR). New York, USA, S. 157–163, 2016.

[Ko13] Korzeniowski, Filip; Krebs, Florian; Arzt, Andreas; Widmer, Gerhard: Tracking Rests and Tempo Changes: Improved Score Following with Particle Filters. In: Proceedings of the International Computer Music Conference (ICMC). Perth, Australia, 2013.

[Ku07] Kurth, Frank; Müller, Meinard; Fremerey, Christian; Chang, Yoon-ha; Clausen, Michael: Automated Synchronization of Scanned Sheet Music with Audio Recordings. In: Proceedings of the International Society for Music Information Retrieval Conference (ISMIR). Wien, Österreich, S. 261–266, 2007.

[LD15] Li, Bochen; Duan, Zhiyao: Score Following for Piano Performances with Sustain-Pedal Effects. In: Proceedings of the International Society for Music Information Retrieval Conference (ISMIR). Málaga, Spain, S. 469–475, 2015.

[MC11] Montecchio, Nicola; Cont, Arshia: A unified approach to real time audio-to-score and audio-to-audio alignment using sequential Montecarlo inference techniques. In: Proceedings of the IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP). Prague, Czech Republic, S. 193–196, 2011.

[Na15] Nakamura, Eita; Cuvillier, Philippe; Cont, Arshia; Ono, Nobutaka; Sagayama, Shigeki: Autoregressive Hidden Semi-Markov Model of Symbolic Music Performance for Score Following. In: Proceedings of the International Society for Music Information Retrieval Conference. Málaga, Spain, S. 392–398, 2015.

[OD01] Orio, Nicola; Déchelle, François: Score Following Using Spectral Analysis and Hidden Markov Models. In: Proceedings of the International Computer Music Conference (ICMC). Havana, Cuba, 2001.

[Or03] Orio, Nicola; Lemouton, Serge; Schwarz, Diemo; Schnell, Norbert: Score Following: State of the Art and New Developments. In: Proceedings of the International Conference on New Interfaces for Musical Expression (NIME). Montréal, Canada, S. 36–41, 2003.

[Ot11] Otsuka, Takuma; Nakadai, Kazuhiro; Takahashi, Toru; Ogata, Tetsuya; Okuno, Hiroshi G.: Real-Time Audio-to-Score Alignment using Particle Filter for Co-player Music Robots. EURASIP Journal on Advances in Signal Processing, 2011(2011:384651), 2011.

[Ra01] Raphael, Christopher: A Bayesian Network for Real-Time Musical Accompaniment. In: Advances in Neural Information Processing Systems (NIPS). Vancouver, Canada, S. 1433–1439, 2001.

[Ra09] Raphael, Christopher: Current Directions with Music Plus One. In: Proceedings of the Sound and Music Computing Conference (SMC). Porto, Portugal, S. 71–76, 2009.

[Ra10] Raphael, Christopher: Music Plus One and Machine Learning. In: Proceedings of the International Conference on Machine Learning (ICML). Haifa, Israel, S. 21–28, 2010.

[Re12] Rebelo, Ana; Fujinaga, Ichiro; Paszkiewicz, Filipe; Marcal, Andre R. S.; Guedes, Carlos; Cardoso, Jaime S.: Optical music recognition: state-of-the-art and open issues. International Journal of Multimedia Information Retrieval, 1(3):173–190, 2012.

[SYK14] Sako, Shinji; Yamamoto, Ryuichi; Kitamura, Tadashi: Ryry: A Real-Time Score-Following Automatic Accompaniment Playback System Capable of Real Performances with Errors, Repeats and Jumps. In: Proceedings of the International Conference on Active Media Technology (AMT). Warsaw, Poland, S. 134–145, 2014.

[Ve84] Vercoe, Barry: The Synthetic Performer in the Context of Live Performance. In: Proceedings of the International Computer Music Conference (ICMC). Paris, France, S. 199–200, 1984.

[We15] Wen, Cuihong; Rebelo, Ana; Zhang, Jing; Cardoso, Jaime: A new optical music recognition system based on combined neural network. Pattern Recognition Letters, 58:1–7, 2015.

[Xi16] Xia, Guangyu: Expressive Collaborative Music Performance via Machine Learning. Dissertation, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, USA, 2016.

[YSK13] Yamamoto, Ryuichi; Sako, Shinji; Kitamura, Tadashi: Robust on-line algorithm for real-time audio-to-score alignment based on a delayed decision and anticipation framework. In: Proceedings of the IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP). Vancouver, Canada, S. 191–195, 2013.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 61

Konzeption einer webbasierten Benutzerschnittstelle zur Unterstützung des Jazz-Piano Unterrichts

Stefan Balke[1] Paul Bießmann[2] Sebastian Trump[2] Meinard Müller[1]

Abstract: Das Erlernen von Jazz stellt eine Herausforderung für viele Musiker dar. Insbesondere Spieler von Harmonieinstrumenten (z. B. Klavier oder Gitarre) müssen die auftauchenden harmonischen Zusammenhänge verstehen und im eigenen Spiel einbauen können. Zum Nachvollziehen der zum Teil komplexen Harmoniken reicht die Unterrichtszeit mit einem Lehrer oftmals nicht aus. In dieser Arbeit deuten wir Möglichkeiten an, wie webbasierte Technologien verwendet werden können, um Lehrinhalte aufzubereiten und für den Schüler erfahrbar zu machen. Dazu nehmen wir zunächst exemplarisch Lektionen zu typischen Lehrinhalten aus dem Jazz-Piano Unterricht auf und bereiten diese für die multimediale Nutzung auf. Insbesondere präsentieren wir einen webbasierten Demonstrator (`http://mir.audiolabs.uni-erlangen.de/jazz-piano`), der eine benutzerfreundliche Interaktion mit diesen multimedialen Lehrinhalten ermöglicht. Mithilfe unseres Demonstrators ist der Schüler in der Lage, im Unterricht besprochene Konzepte anhand eingespielter und annotierter Beispiele im individuellen Lerntempo nachzuvollziehen und zu wiederholen. Darüberhinaus ermöglichen verschiedene Navigationsmöglichkeiten einen flexiblen Zugang zu den multimedialen Daten.

Keywords: Computergestützte Musikverarbeitung. Multimedia. Webtechnologie.

1 Einleitung

In den letzten Jahrhunderten entwickelte sich der klassische Klavierunterricht weg vom freien Spiel ohne Noten hin zu einem exakten Nachspielen und Interpretieren bestehender Werke [Ge04]. Diese Art des Unterrichts steht jedoch den Anforderungen des vergleichsweise jungen Gebiets der Jazzpädagogik entgegen, in dem – basierend auf einem guten theoretischen Hintergrundwissen – der kreative Umgang mit dem musikalischen Material im Vordergrund steht. Ein guter Weg zum Erlernen von Jazz-Piano ist das Nachspielen von Gehörtem (z. B. vorgespielt durch den Lehrer oder von Aufnahmen bekannter Jazzmusiker) aus dem Gedächtnis heraus. Noten sollen dabei nur eine Gedächtnisstütze sein oder beim Erklären komplizierter theoretischer Zusammenhänge helfen. Macht sich der Schüler im Unterricht Notizen, gehen möglicherweise andere wichtige Aspekte, wie Phrasierung oder Timing, verloren.

Mithilfe eines webbasierten Demonstrators soll in dieser Arbeit exemplarisch anhand ausgewählter Musikbeispiele das Potenzial der Verwendung multimedialer Inhalte im

[1] International Audio Laboratories Erlangen, stefan.balke@audiolabs-erlangen.de
[2] Hochschule für Musik Nürnberg

doi:10.18420/in2017_03

Klavierunterricht angedeutet werden. Wir verstehen den Demonstrator hierbei als ein Werkzeug für den Lehrer, um schwierige Sachverhalte aufzuarbeiten und den Schülern zur Verfügung zu stellen. Durch Anwendung webbasierter Technologien soll eine Interaktion mit den multimedialen Daten ermöglicht werden, um somit die musikalischen Zusammenhänge für den Schüler Schritt für Schritt erfahrbar zu machen.

Abb. 1 zeigt den inhaltlichen Aufbau unseres Demonstrators. Abb. 1a gibt dem Schüler die Auswahl zwischen drei Songs aus dem gängigen Jazzrepertoire, die in den aufeinander aufbauenden Lektionen erlernt werden können. In Abb. 1b ist die erste Lektion des Songs *I Fall in Love Too Easily* dargestellt. Die Hauptkomponenten bestehen aus einer Videoaufnahme der Klaviatur, einem synchron zur Aufnahme angezeigten Notentext und weiterführenden Erklärungen. Mithilfe einer Klavierwalzendarstellung wird eine zusätzliche Visualisierung der gespielten Noten angeboten. Wir greifen die Interaktions- und Navigationsmöglichkeiten des Demonstrators im Detail in Abschnitt 4 auf. Um die beschriebenen Funktionalitäten direkt erfahrbar zu machen, stellen wir den Demonstrator unter folgender Webadresse zur Verfügung:

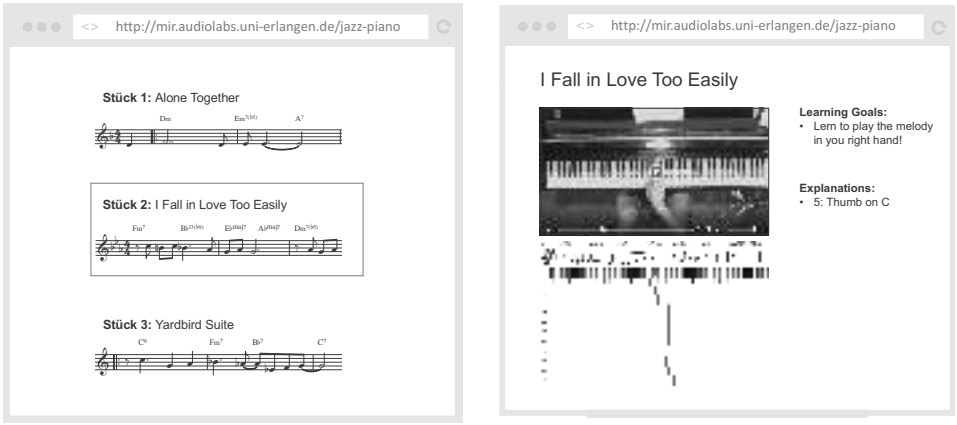
`http://mir.audiolabs.uni-erlangen.de/jazz-piano`

Der nachfolgende Artikel ist wie folgt gegliedert: Abschnitt 2 stellt Bezüge zur bestehenden Literatur her und zeigt einige Beispiele für den Einsatz computergestützter Methoden in der Musikdidaktik. In Abschnitt 3 erläutern wir den Aufnahmen- und Aufbereitungsprozess, der nötig ist um neue Inhalte in den Demonstrator einzubinden. Abschnitt 4 beschreibt den webbasierten Demonstrator und seine Funktionalitäten. Abschnitt 5 enthält eine kurze Zusammenfassung des Artikels und eine Diskussion weiterführender Ideen, wie der Demonstrator in der Musikdidaktik Anwendung finden könnte.

2 Stand der Forschung

In den letzten Jahren sind sowohl im wissenschaftlichen, als auch im kommerziellen Umfeld eine Reihe von Prototypen bzw. Produkten entstanden, die das Erlernen von Instrumenten unterstützen. Dabei werden vielfach Methoden der computergestützten Musikverarbeitung verwendet, z. B. zur Auswertung von aufgenommenen Melodielinien oder zur automatischen Extraktion von Akkordsymbolen aus Musikaufnahmen. Für einen Überblick dieser Methoden verweisen wir auf die Literatur (z. B. [Mü15, We16, KS16, MGS12]). Im Folgenden gehen wir auf einige dieser multimedialen Lern- und Lehrprogramme aus dem Musikbereich näher ein.

Der vorliegende Beitrag ist eng mit den Konzepten des *SyncPlayer* verknüpft [Da12a]. In diesem System kann der Benutzer eine Reihe von Anfragen an eine Musikdatenbank stellen (z. B. eine Suche mittels einer kurzen Melodieanfrage oder eine Suche innerhalb des Gesangstextes zu einem Stück), die dann von einem Server bearbeitet werden. Die



(a) (b)

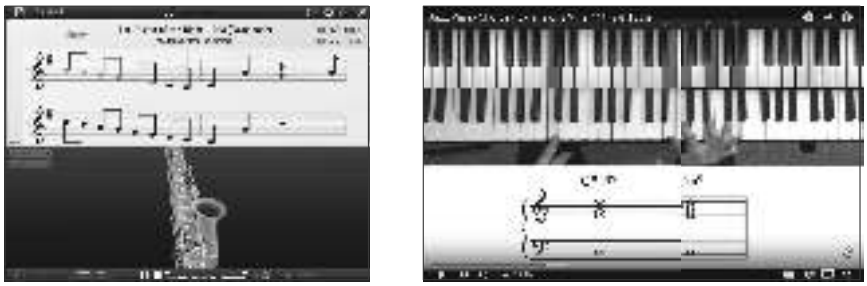
Abb. 1: Inhaltlicher Aufbau unseres webbasierten Demonstrators. (a) zeigt die Eingangsseite und (b) den Aufbau einer Lektionsseite.

Treffer können anschließend visuell in einer graphischen Benutzeroberfläche dargestellt und akustisch wiedergegeben werden. Insbesondere erweist sich die Interaktion und Navigation mit einem dargestellten Notentext als nützliches Hilfsmittel für viele musikwissenschaftliche Aufgabenstellungen. Im Rahmen des Projekts „Freischütz Digital“ [Rö15], wurden ähnliche Benutzerschnittstellen entwickelt. Dieses Projekt befasste sich insbesondere mit der Entwicklung von computergestützten Werkzeugen zur Erforschung von kritischen Editionen. Hierbei bestand ein wesentlicher Schritt darin, die verschiedenen existierenden Musikaufnahmen und Notentextausgaben miteinander zu verknüpfen. Auf Basis dieser Verknüpfungen wurden spezielle graphischen Benutzerschnittstellen entwickelt, die die beteiligten Musikwissenschaftler in der Erstellung einer kritischen Edition unterstützen sollten.

Im Projekt „PHENICX“ (Performances as Highly Enriched aNd Interactive Concert eXperiences) ging es um die Entwicklung von Systemen zur Verbesserung des Konzerterlebnisses von klassischen Konzertaufführungen [LGS15, Ga15, Me15]. Neben der Möglichkeit, während des Konzertes weitere Informationen für den Besucher synchron zur gespielten Musik zu präsentieren, wurden in diesem Projekt ebenfalls webbasierte Demonstratoren entwickelt, die zu den Musikaufnahmen Zusatzinformationen zur Instrumentierung oder Hintergrundwissen zu den Werken vermitteln.

Die Verfolgung des Notentextes in Echtzeit [Da84, Co08] – sogenanntes „Score-Following“ – schafft die Grundlage für viele der heute verfügbaren Applikationen. Im Gegensatz zu Applikationen, die spezielle Controller für die Eingabe benötigen (z. B. *GuitarHero*[3]), ermöglicht das Score-Following den Einsatz realer Instrumente. Ein Beispiel dafür ist

[3] https://www.guitarhero.com



(a) (b)

Abb. 2: (a) Benutzerschnittstelle von Songs2See (Quelle: http://www.songs2see.com). Richtig gespielte Noten werden mit einem grünen Notenkopf hinterlegt; somit erhält der Schüler direktes Feedback. (b) Screenshot eines Onlinekurses auf der Videoplattform YouTube (Quelle: https://www.youtube.com/watch?v=6u4Qmfc54nw).

die Anwendung *Songs2See*[4] [Di12]. Mittels eines Mikrofons werden die auf den eigenen Instrumenten der Nutzer gespielten Töne erfasst und verarbeitet. Auf dem Bildschirm werden dazu die Noten dargestellt, die zu vorgegebenen Zeitpunkten gespielt werden müssen. Das vom Schüler erzeugte Musiksignal wird in Echtzeit vom Programm analysiert. Abb. 2a zeigt einen Screenshot des Programms: Mithilfe grün und rot eingefärbter Notenköpfe bekommt der Schüler direktes Feedback über die Genauigkeit der gespielten Noten. Dabei wird der Schüler von einem Playalong begleitet, das sich durch eine Vielzahl von Parametern (z. B. Abspielgeschwindigkeit, Tonart oder Lautstärke der Begleitinstrumente) variieren lässt. Ähnliche Konzepte zum begleiteten Musizieren verfolgen andere Programme wie *SmartMusic*[5] oder *PlayPerfect*[6]. Die Lernplattform *Skoove*[7] spezialisiert sich auf das Erlernen von Klavier. Das Konzept des Score-Followings funktioniert besonders gut bei ausnotierter Musik. Eine robuste Verarbeitung von Musik, die freie Improvisation und Abweichungen zum Notentext zulässt, benötigt andere Konzepte, die Gegenstand aktueller Forschung sind (z. B. [Da12b, THD03]).

Einen weiteren aufstrebenden Bereich bilden die Vielzahl von Onlinekursen, die auf Videoplattformen (z. B. YouTube) frei zur Verfügung gestellt werden. Hier sind viele Videos von erfahrenen Jazzpianisten zu finden, die meist wie eine normale Unterrichtsstunde aufgebaut sind und sich einem bestimmten Thema widmen. Abb. 2b zeigt einen solchen Onlinekurs auf der Videoplattform YouTube. Oft sind hierbei, wie im Beispiel angedeutet, Lehrer und Klaviatur von oben zu sehen. Teilweise sind die dazugehörigen Notenbeispiele direkt im Video eingebettet oder können separat heruntergeladen werden. Auf YouTube können Videos für unterschiedliche Schwierigkeitsstufen gefunden werden. Allerdings

[4] http://www.songs2see.com
[5] http://www.smartmusic.com
[6] http://www.nchsoftware.com/practice
[7] https://www.skoove.com

variieren die Videos deutlich sowohl in ihrer didaktischen, als auch technischen Qualität. Dies macht die Recherche nach einem passenden Video mitunter sehr zeitaufwändig.

3 Aufnahmeprozess

In den folgenden Abschnitten erläutern wir den technischen Prozess, der nötig ist, um Lehrinhalte in den Demonstrator aufzunehmen. Zunächst stellen wir die Kompositionen vor, die wir in diesem Artikel verwenden, gefolgt von einer kurzen Einführung in die Notation von Jazzmusik. Die exemplarischen Lektionen orientieren sich an gängiger Lehrpraxis (z. B. an der Methode von Jamey Aebersold [Ae96]). Zunächst wird die Melodie vorgestellt, gefolgt von den Akkorden und Basslinien, bis schließlich improvisiert werden soll. Es folgt eine Beschreibung des Aufnahmeprozesses der einzelnen Lektionen und Erläuterungen über die anschließende systematische Anreicherung der Aufnahmen mithilfe manueller Annotationen.

3.1 Auswahl der Kompositionen

In der Jazzmusik gibt es eine Vielzahl von Kompositionen. Viele dieser Kompositionen sind abgewandelte Formen überlieferter Melodien oder stammen aus amerikanischen Broadway-Musicals (z. B. *I Got Rhythm* aus dem Musical *Girl Crazy* von George und Ira Gershwin). Die bekanntesten Jazzkompositionen werden als *Standards* bezeichnet. Diese Standards wurden in Sammelbänden (auch *Fake Books* genannt) zusammengefasst und veröffentlicht und dienen heute als Grundlage für Jam-Sessions. Die übliche Notation einer Jazzkomposition erfolgt mithilfe eines *Leadsheets*. Abb. 3 zeigt das Leadsheet der 16-taktigen Komposition *I Fall in Love Too Easily*. In diesem ist nur die Hauptmelodie ausnotiert – eine mögliche Begleitung wird mithilfe von Akkordsymbolen angegeben.

Die Standards bilden oftmals lediglich den Rahmen für gemeinsame Improvisation. Im Rahmen des *Jazzomat* Projekts wurden 456 Transkriptionen (und weitere Annotationen) bekannter Jazzsolisten (z. B. Miles Davis, John Coltrane oder Michael Brecker) angefertigt und in der Weimar Jazz Database (WJD) [Ab13, PFA17] zusammengefasst. Viele der dort enthaltenen Kompositionen waren entweder bei der Aufnahme schon Standards oder haben sich im Laufe der Zeit als solche etabliert.

Für unseren Demonstrator wählen wir aus dem Datenbestand der WJD drei Standards aus. Als geeignete Beispiele für unseren Demonstrator nehmen wir die drei Standards *Alone Together*, *I Fall in Love Too Easily* und *Yardbird Suite*. Mithilfe aufeinander aufbauenden Lektionen (*Lessons*) wollen wir exemplarisch wichtige Konzepte im Jazz in variierenden Schwierigkeitsstufen darstellen. Alle drei Standards beginnen mit einer Einführung in die Melodie, gefolgt von einer passenden Begleitung mithilfe eines Basslaufs oder der angegebenen Akkorde. Anschließend erfolgt in mehreren Schritten die Erarbeitung wichtiger

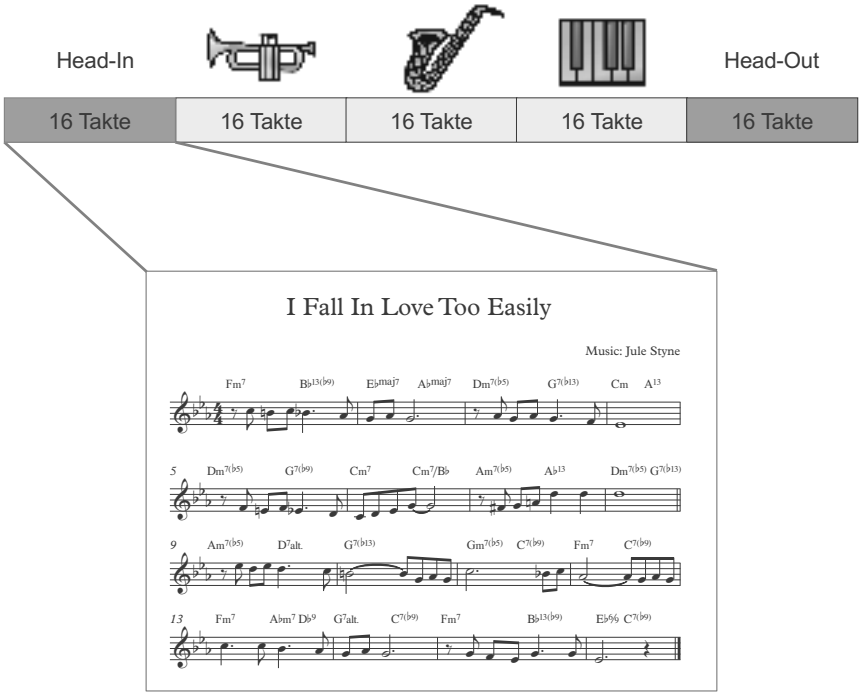


Abb. 3: Typischer Aufbau einer Jazzaufnahme anhand des Standards *I Fall in Love Too Easily*. Zunächst wird das 16-taktige Thema vorgestellt (*Head-In*). Im Anschluss werden die Akkordfolgen des Standards wiederholt und die beteiligten Musiker können über diese improvisieren. Am Ende wird das Thema erneut gespielt (*Head-Out*).

Techniken. Beispielsweise führen wir in *Alone Together* eine typische Akkordtechnik (Blockakkordtechnik) ein, die in der Ballade *I Fall in Love Too Easily* erneut aufgegriffen und erweitert wird. In *Yardbird Suite* verwenden wir volle Akkord-Voicings, in Verbindung mit eingefügten Zwischendominanten und weiterführenden Techniken.

3.2 Aufnahme der Lektionen

Für jeden der gewählten Standards wurde eine Reihe von Lektionen entworfen, die Grundkonzepte des Jazz-Piano-Spiels behandeln. Der Ablauf der ersten drei Lektionen ist für alle Standards identisch: Zuerst wurden die linke und die rechte Hand separat eingespielt. Typischerweise werden in der linken Hand eine Basslinie und begleitende Akkorde gespielt und in der rechten Hand die Hauptmelodie. Die Kombination beider Hände führt im nächsten Schritt bereits zu einem einfachen Arrangement. Abschließend wurden Lektionen aufgenommen, die weiterführende Techniken behandeln (z. B. spezielle Satztechniken oder

Standard	Lektion	#Durchgänge	Länge (hh:mm)
Alone Together	Rechte Hand: Melodie	1	01:18
Tempo: 137 bpm	Linke Hand: Basslinie, Walking Bass	2	02:37
Taktart: 4/4	Einfaches Arrangement: Linke und rechte Hand	2	02:37
	Komplexes Arrangement: Blockakkorde	2	01:18
	Soloteil	2	01:18
I Fall In Love Too Easily	Rechte Hand: Melodie	1	01:01
Tempo: 64 bpm	Linke Hand: Akkorde, Stride-Piano	1	01:01
Taktart: 4/4	Einfaches Arrangement: Linke und rechte Hand	1	01:01
	Einfaches Arrangement plus Soloteil	3	03:11
	Komplexes Arrangement plus Soloteil	4	04:05
Yardbird Suite	Rechte Hand: Melodie	1	00:58
Tempo: 128 bpm	Linke Hand: Basslinie	1	00:58
Taktart: 4/4	Akkorde ausspielen	1	00:58
	Mittelschweres Arrangement: Linke und rechte Hand	1	00:58
	Komplexes Arrangement: Mehrtönige Begleitung	1	00:58
	Soloteil	1	00:58
	Soloteil	1	00:58
Summe/Dauer	17	26	26:13

Tab. 1: Überblick über die aufgenommenen Standards mitsamt den zugehörigen Lektionen.

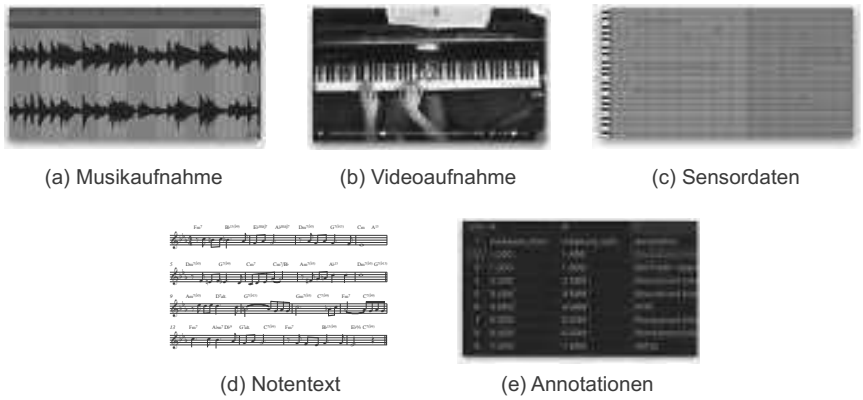
improvisierte Soloteile). Tab. 1 gibt einen Überblick über die Anzahl der aufgenommen Lektionen und die Längen der jeweiligen Aufnahmen.

Bei unseren Aufnahmen der einzelnen Lektionen haben wir neben der Musikaufnahme zusätzlich ein Video mit Blick auf die Klaviatur mit aufgenommen. Um die Tastenanschläge des Klaviers gesondert aufnehmen zu können, verwendeten wir ein Disklavier™. Ein Disklavier ist ein handelsüblicher mechanischer Flügel, der über zusätzliche Sensorik verfügt, um die Tastenanschläge und Pedalbewegungen aufzunehmen. Die Signale der installierten Sensoren werden in MIDI-Daten[8] umgewandelt und können über einen mitgelieferten Controller ausgelesen werden. Darin wird nicht die Musik selbst gespeichert, sondern nur Informationen über die Zeit des Tastenanschlags, dessen Länge und Tonhöhe, sowie zusätzlich globale Werte wie Tempo oder Taktart. Durch die Verwendung dieser MIDI-Daten (neben den üblichen akustischen Aufnahmen), können synchronisierte Klavierwalzendarstellungen generiert werden.

3.3 Aufbereitung der Aufnahmen

Wir beschreiben nun, wie die unterschiedlichen Medienobjekte (siehe Abb. 4) aufgearbeitet und mit weiteren manuellen Annotationen angereichert wurden. Zweck der manuellen

[8] MIDI (Musical Instrument Digital Interface) ist ein Industriestandard für den Austausch musikalischer Steuerinformationen zwischen elektronischen Instrumenten.



(a) Musikaufnahme (b) Videoaufnahme (c) Sensordaten

(d) Notentext (e) Annotationen

Abb. 4: Beispiel für die Medienobjekte einer Lektion aus dem Stück *I Fall in Love Too Easily*.

Annotationen ist es, die Medienobjekte miteinander zu verknüpfen und somit eine objektübergreifende Navigation zu ermöglichen.

Die Aufarbeitung beginnt mit dem Schneiden der Musikaufnahmen in einer Digital Audio Workstation (DAW). Damit die Musikaufnahmen später nicht abrupt starten, wurden diese mit einem Vorlauf von einem Takt vor Beginn der eigentlichen Einspielung geschnitten. Um ein späteres einfaches Abspielen im Webbrowser zu ermöglichen, wurden die nun bearbeiteten Musikaufnahmen als Audiospuren für die Videoaufnahmen benutzt. Die Sensordaten in Form von MIDI-Dateien beginnen jeweils mit dem ersten Tastenanschlag. Eine mögliche Verschiebung zu der Musikaufnahme wird manuell ermittelt und in einer zusätzlichen Annotationsdatei abgespeichert. Der Notentext wurde in einem Notensatzprogramm gesetzt und anschließend in eine Sequenz von 4-taktigen Segmenten als statische Bilder exportiert.

Um das synchrone Abspielen und die objektübergreifende Navigation innerhalb der unterschiedlichen Medienobjekte zu ermöglichen, wird eine Referenzachse (gemessen in Takten) verwendet. Dazu wurden die zu den Taktanfängen korrespondierenden Zeitpositionen in allen Medienobjekten bestimmt und manuell annotiert. Bei unseren Musikaufnahmen kann die Bestimmung die Taktanfänge berechnet werden, da der Pianist die Aufnahmen mithilfe eines Metronoms eingespielt hat. Mithilfe der Taktart, dem für die Komposition gewählten Tempo und der Zeitposition des ersten Taktes, können alle Taktanfänge hinreichend genau ermittelt werden. Im Falle von Temposchwankungen könnten Methoden zur automatischen Musiksynchronisation verwendet werden (z. B. [EMG09]). Der Notentext ist ebenfalls in Takten angegeben. Alle weiteren Annotationen, wie z. B. weiterführende Erklärungen des Lehrers verwenden ebenfalls Zeitangaben in Takten, um eine direkte Verknüpfung mit der Referenzachse zu gewährleisten.

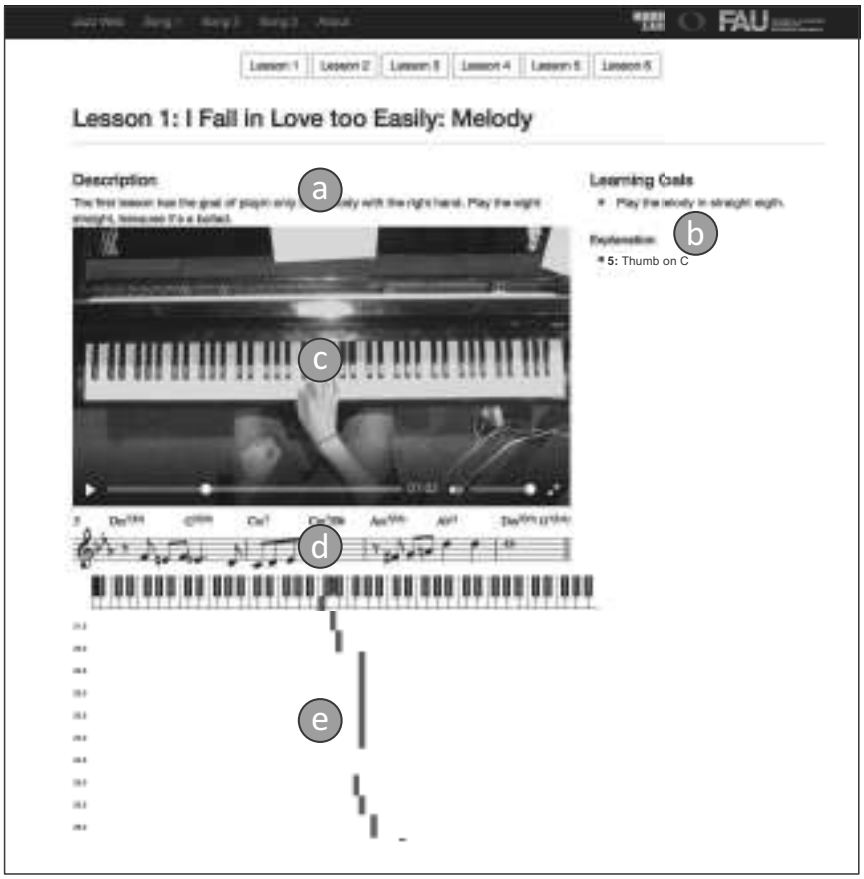


Abb. 5: Screenshot des webbasierten Demonstrators bestehend aus einer kurzen Beschreibung der Lektion (a), den angestrebten Lernzielen (b), dem Videoplayer (c), dem Notentext (d) und einer Klavierwalzendarstellung (e).

4 Webbasierter Demonstrator

Beim Aufrufen des Demonstrators gelangt der Schüler zunächst auf die Startseite, die einen Überblick über die angebotenen Standards (siehe Abschnitt 3.1) liefert. Zu jedem Standard sind fünf bis sieben Lektionen verfügbar, die jeweils verschiedene Lehrinhalte behandeln. Nach der Anwahl des gewünschten Standards gelangt der Schüler zur eigentlichen Anwendung, die in Abb. 5 dargestellt ist und deren Komponenten wir im Folgenden kurz erläutern.

Um dem Schüler vor Beginn des Videos Informationen über dessen Lehrinhalt geben zu können, verfügt jede Lektion über eine einführende Beschreibung mit Übehinweisen

und Lehrinhalten (Abb. 5a). Die einzelnen Lernziele sind nochmals in Stichpunkten separat aufgeführt (Abb. 5b). Der zentrale Bestandteil der Webseite ist der Videoplayer (Abb. 5c), der den Pianisten von oben zeigt um eine bestmögliche Sicht auf die Tasten zu garantieren. Abb. 5B zeigt die Einbindung des zur Lektion gehörenden Notentextes Aus Übersichtlichkeitsgründen wird der Notentext in Notenzeilen geteilt. Beim Abspielen wird jeweils die aktuelle Zeile (vier Takte) angezeit (Abb. 5d).

Ein weiteres wichtiges Element des Demonstrators ist die Klavierwalzendarstellung (Abb. 5e). In dieser Darstellung werden die einzelnen Noten als vertikale Balken dargestellt. Die horizontale Position kodiert die Tonhöhe und die Länge der Balken die Tondauer. Mithilfe dieser Darstellung bekommt der Schüler einen Überblick über die gerade gespielten Noten. Darüber hinaus werden die Noten der nächsten fünf Sekunden angezeigt, was die Vorbereitung auf die nächsten Noten ermöglicht. Stoppt der Schüler das Video und springt an eine bestimmte Zeitposition, so wird die Klavierwalzendarstellung angepasst und ermöglich es so zum Beispiel die Noten für ein bestimmtes Voicing abzulesen und nachzuspielen.

4.1 Technischer Aufbau

Der hier vorgestellte Demonstrator ist eine Client-Server Applikation. Der Client stellt mittels des Hypertext Transfer Protocols (HTTP) Anfragen an den Server, verarbeitet diese und zeigt die Ergebnisse anschließend im Webbrowser an. Das Layout der HTML-Seiten im Webbrowser wird mit dem frei verfügbaren Framework `Bootstrap`[9] erstellt, das dafür konzipiert ist, auf verschiedenen Endgeräten wie PC, Smartphone oder Tablet gleichermaßen gut zu funktionieren. Für die Interaktion im Webbrowser wird `JavaScript`[10] verwendet. Die Klavierwalzendarstellung wird mithilfe der Bibliothek `D3`[11] realisiert. Für die serverseitige Logik wird das Python-Framework `Flask`[12] genutzt. Für das Laden der MIDI-Dateien verwenden wir die Python-Bibliothek `pretty_midi` [RE14].

5 Zusammenfassung

In diesem Artikel haben wir ein webbasiertes System vorgestellt, das als Ergänzung zum regulären Jazz-Piano Unterricht eingesetzt werden kann. Anhand von drei Standards und dazugehörigen Lektionen wurde der Aufnahmeprozess der Daten exemplarisch beschrieben. Die bei den Aufnahmen der Lektionen entstandenen Multimediaobjekte wurden manuell aufbereitet und über eine Referenzachse miteinander verknüpft. Mithilfe eines webbasierten Demonstrators haben wir die verknüpften Medienobjekte zusammengeführt und mit weiteren Visualisierungen angereichert. Dies gibt uns die Möglichkeit mit den Aufnahmen zu interagieren und sie damit auf verschiedene Arten erfahrbar zu machen.

[9] `http://www.getbootstrap.com`
[10] `https://www.javascript.com`
[11] Data-Driven Documents, siehe: `https://www.d3js.org`
[12] `http://flask.pocoo.org`

Der Demonstrator eröffnet die Möglichkeiten für eine Reihe von weiterführenden Arbeiten. Insbesondere in der Aufbereitung der Aufnahmen für den Demonstrator könnten Methoden zur automatisierten Musiksynchronisation den Aufbereitungsprozess erheblich beschleunigen und durch einen niederschwelligen Zugang breitere Nutzerkreise jenseits des technisch versierten Musikpädagogen erschließen. Durch zusätzliche Visualisierungen können weitere Interaktionsmöglichkeiten geschaffen werden. Zum Beispiel ist hier eine erweiterte Klavierwalzendarstellung, die zwischen den notierten Akkorden und den real gespielten Noten umschalten kann, denkbar. Auch eine Funktionalität zur Markierung und Sonifikation einzelner Noten könnte hilfreich sein. Zudem könnten Methoden der computergestützten Musikverarbeitung verwendet werden, um die Aufnahmen mit weiteren musikrelevanten Annotationen anzureichern (z. B. Strukturannotationen). Außerdem könnten automatische Transkriptions- und Evaluationsfunktionalitäten hinzugefügt werden, die dem Schüler direktes Feedback über sein Gespieltes geben.

Der Demonstrator soll das Potenzial der Verwendung webbasierter Technologien in der Musikdidaktik anhand eines konkreten Szenarios aufzeigen. Dieses System könnte als Basis für eine musikdidaktische Studien dienen, die beispielsweise den Lernverlauf von Klavierschülern evaluiert. Ein weiteres Anwendungsszenario ist die Verwendung des Demonstrators, um existierendes, bewährtes Lehrmaterial in Buchform (z. B. [Ki07, Le89]) multimedial aufzubereiten und interaktiver zu gestalten. Hierzu bedarf es allerdings einer interdisziplinären Diskussion und engen Zusammenarbeit zwischen den verschiedenen Fachbereichen.

Danksagungen

Die International Audio Laboratories Erlangen sind eine Gemeinschaftseinrichtung der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg (FAU) und des Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen IIS. Die vorgestellte Arbeit wurde durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft gefördert (MU 2686/6–1).

Literaturverzeichnis

[Ab13] Abeßer, Jakob; Frieler, Klaus; Zaddach, Wolf-Georg; Pfleiderer, Martin: Introducing the Jazzomat project - Jazz solo analysis using Music Information Retrieval methods. In: Proceedings of the International Symposium on Sound, Music, and Motion (CMMR). Marseille, France, S. 653–661, 2013.

[Ae96] Aebersold, Jamey: How to play Jazz and Improvise. Jamey Aebersold Jazz, 1996.

[Co08] Cont, Arshia: ANTESCOFO: Anticipatory Synchronization and Control of Interactive Parameters in Computer Music. In: Proceedings of the International Computer Music Conference (ICMC). North Irland, Belfast, S. 33–40, 2008.

[Da84] Dannenberg, Roger B.: An On-Line Algorithm for Real-Time Accompaniment. In: Proceedings of the International Computer Music Conference (ICMC). Paris, France, S. 193–198, 1984.

[Da12a] Damm, David; Fremerey, Christian; Thomas, Verena; Clausen, Michael; Kurth, Frank; Müller, Meinard: A digital library framework for heterogeneous music collections: from document acquisition to cross-modal interaction. International Journal on Digital Libraries: Special Issue on Music Digital Libraries, 12(2-3):53–71, 2012.

[Da12b] Dannenberg, Roger B.: Human Computer Music Performance. In (Müller, Meinard; Goto, Masataka; Schedl, Markus, Hrsg.): Multimodal Music Processing, Jgg. 3 in Dagstuhl Follow-Ups, S. 121–133. Schloss Dagstuhl–Leibniz-Zentrum für Informatik, Dagstuhl, Germany, 2012.

[Di12] Dittmar, Christian; Cano, Estefanía; Abeßer, Jakob; Grollmisch, Sascha: Music Information Retrieval Meets Music Education. In (Müller, Meinard; Goto, Masataka; Schedl, Markus, Hrsg.): Multimodal Music Processing, Jgg. 3 in Dagstuhl Follow-Ups, S. 95–120. Schloss Dagstuhl–Leibniz-Zentrum für Informatik, Dagstuhl, Germany, 2012.

[EMG09] Ewert, Sebastian; Müller, Meinard; Grosche, Peter: High Resolution Audio Synchronization Using Chroma Onset Features. In: Proceedings of IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP). Taipei, Taiwan, S. 1869–1872, April 2009.

[Ga15] Gasser, Martin; Arzt, Andreas; Gadermaier, Thassilo; Grachten, Maarten; Widmer, Gerhard: Classical Music on the Web - User Interfaces and Data Representations. In: Proceedings of the International Conference on Music Information Retrieval (ISMIR). S. 571–577, 2015.

[Ge04] Gellrich, Martin: Üben mit Lis(z)t (Liszt).: Wiederentdeckte Geheimnisse aus der Werkstatt der Klaviervirtuosen. Verlag Im Waldgut Ag, 2004.

[Ki07] Kissenbeck, Andreas: Jazztheorie I + II. Bärenreiter Verlag, 2007.

[KS16] Knees, Peter; Schedl, Markus: Music Similarity and Retrieval. Springer Verlag, 2016.

[Le89] Levine, Mark: The Jazz Piano Book. International Music Publications Ltd., 1989.

[LGS15] Liem, Cynthia C. S.; Gómez, Emilia; Schedl, Markus: PHENICX: Innovating the Classical Music Experience. In: Proceedings of the IEEE International Conference on Multimedia and Expo Workshops (ICMEW). Torino, Italy, S. 1–4, June–July 2015.

[Me15] Melenhorst, Mark S; van der Sterren, Ron; Arzt, Andreas; Martorell, Agustín; Liem, Cynthia C.S.: A Tablet App to Enrich the Live and Post-Live Experience of Classical Concerts. In: Proceedings of the International Workshop on Interactive Content Consumption (WSICC). 2015.

[MGS12] Müller, Meinard; Goto, Masataka; Schedl, Markus, Hrsg. Multimodal Music Processing, Jgg. 3 in Dagstuhl Follow-Ups. Schloss Dagstuhl - Leibniz-Zentrum für Informatik, Germany, 2012.

[Mü15] Müller, Meinard: Fundamentals of Music Processing. Springer Verlag, 2015.

[PFA17] Pfleiderer, Martin; Frieler, Klaus; Abeßer, Jakob: , The Jazzomat Research Project, Database download, last accessed: 2017/04/04. `http://jazzomat.hfm-weimar.de`, 2017.

[RE14] Raffel, Colin; Ellis, Daniel P. W.: Intuitive Analysis, Creation and Manipulation of MIDI Data with pretty_midi. In: Demos and Late Breaking News of the International Society for Music Information Retrieval Conference (ISMIR). Taipei, Taiwan, 2014.

[Rö15] Röwenstrunk, Daniel; Prätzlich, Thomas; Betzwieser, Thomas; Müller, Meinard; Szwillus, Gerd; Veit, Joachim: Das Gesamtkunstwerk Oper aus Datensicht – Aspekte des Umgangs mit einer heterogenen Datenlage im BMBF-Projekt "Freischütz Digital". Datenbank-Spektrum, 15(1):65–72, 2015.

[THD03] Tzanetakis, George; Hu, Ning; Dannenberg, Roger B.: Toward an Intelligent Editor for Jazz Music. In: Proceedings of the European Workshop on Image Analysis for Multimedia Interactive Services. London, UK, S. 332, 2003.

[We16] Weihs, Claus; Jannach, Dietmar; Vatolkin, Igor; Rudolph, Guenter: Music Data Analysis: Foundations and Applications. CRC Press, 2016.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 75

Die Oper als Multimedia Szenario: Wagners Walküren gehen online

Stefan Balke[1] Manuel Hiemer[2] Peter Schwab[2] Vlora Arifi-Müller[1]
Klaus Meyer-Wegener[2] Meinard Müller[1]

Abstract: Musik lässt sich durch die Vielzahl an möglichen Darstellungs- und Datenformen als Multimediaszenario auffassen: Neben der eigentlichen Musikaufnahme gibt es eine Vielzahl von weiteren Medienobjekten (z. B. Videoaufnahmen, Gesangstexte oder Notentexte), die Musik auf unterschiedliche Arten beschreiben. Im Zuge der Digitalisierung werden viele dieser Medienobjekte heutzutage frei im Internet verfügbar gemacht. Dabei werden die Objekte häufig einzeln betrachtet, obwohl sich zwischen ihnen musikalische Verknüpfungen herstellen ließen. Diese Verknüpfungen können dazu genutzt werden, um neue Arten der Navigation in der Musik zu ermöglichen, oder vorhandene Medienobjekte mit zusätzlichen Informationen anzureichern. In diesem Artikel modellieren wir exemplarisch anhand der Oper „Die Walküre“ von Richard Wagner diese musikalischen Verknüpfungen mittels werkbezogener Annotationen, die in einem geeigneten Datenbankschema abgebildet werden. Basierend auf diesem Modell präsentieren wir dann einen webbasierten Demonstrator, der die wechselseitigen Verknüpfungen zwischen den Medienobjekten zusammenfügt und in einer graphischen Benutzeroberfläche für den Nutzer zugänglich macht.

Keywords: Muskverarbeitung, Multimedia, Webtechnologie

1 Einleitung

In den Konzerthäusern dieser Welt sind Opern ein fester Bestandteil des Aufführungsprogramms. Opern vereinigen Elemente des Schauspiels, Gesangs und orchestraler Musik zu einem Gesamtkunstwerk. Viele große Komponisten haben Opern komponiert, wie zum Beispiel Giuseppe Verdi, Giacomo Puccini, Georges Bizet, Wolfgang Amadeus Mozart oder Richard Wagner. Letzterer ist heute vor allen Dingen durch den Opernzyklus „Der Ring des Nibelungen“ bekannt. Dieser Zyklus besteht aus den vier Opern „Das Rheingold“, „Die Walküre“, „Siegfried“ und der „Götterdämmerung“. Abhängig von der Inszenierung beläuft sich die Gesamtdauer der Opern auf etwa 16 Stunden. Das zugehörige Libretto (Text einer Oper) und der Notentext füllen hunderte von Seiten. Viele dieser Multimediadaten sind heute über das Internet abrufbar; beispielsweise sind Aufzeichnungen des „Rings“ über Videoplattformen wie YouTube frei zugänglich. Der Notentext sowie das Libretto werden über Plattformen wie dem International Music Score Library Project (IMSLP)[3]

[1] International Audio Laboratories Erlangen, stefan.balke@audiolabs-erlangen.de
[2] Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Lehrstuhl für Informatik 6 (Datenmanagement)
[3] `http://www.imslp.org`

doi:10.18420/in2017_04

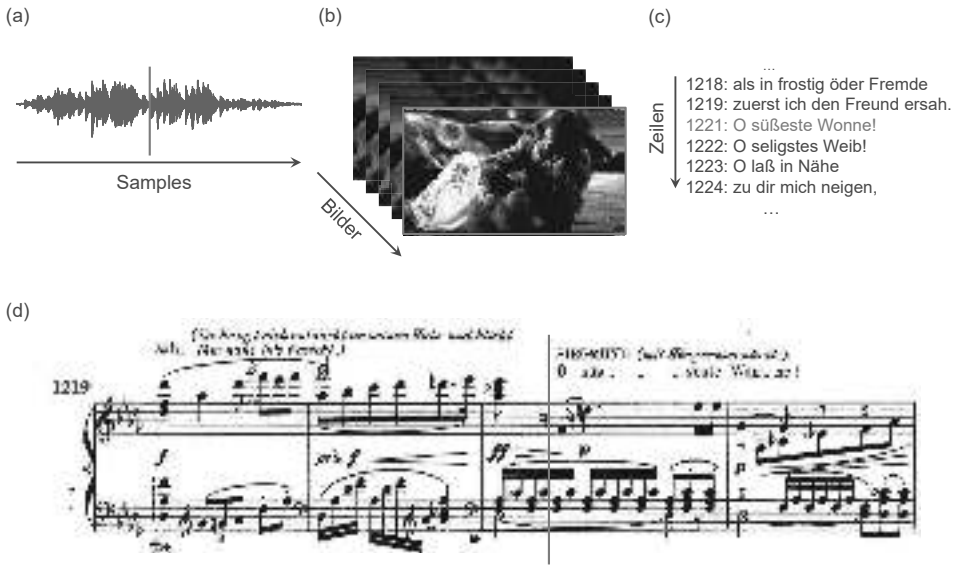


Abb. 1: Überblick über die Medienobjekte im Kontext einer Oper. (a) Musikaufnahme. (b) Musikvideo. (c) Libretto. (d) Gescannter Notentext. Die roten Markierungen visualisieren die Verknüpfungen der Medienobjekte untereinander. Sind diese Verknüpfungen vorhanden, ermöglichen sie eine gleichzeitige Navigation innerhalb der verschiedenen Medienobjekte.

ganz legal der Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt. Eine zentrale Aufgabenstellung besteht darin, mithilfe computergestützter Methoden die existierenden musikalischen Verbindungen zwischen diesen Daten aufzudecken und für den Benutzer erfahrbar zu machen. Unsere Vision besteht in der Umsetzung einer multimedialen Benutzerschnittstelle, die es einem Musikliebhaber erlaubt, eine gewünschte Videoaufnahme (z. B. auf YouTube) automatisch mit dem vorhandenen Notentext zu alignieren, zusätzlich mit dem Gesangstext anzureichern und automatisch weitere Informationen über das Werk und den Komponisten anzuzeigen.

Die Hauptbeiträge dieses Artikels sind die Modellierung der Oper als Multimediaszenario und die anschließende Anreicherung frei im Internet verfügbarer Videoaufnahmen mithilfe einer webbasierten Benutzerschnittstelle. Die zuvor beschriebene Vision in der skizzierten Art und Weise automatisch, fehlerfrei und für alle Genres umzusetzen ist technisch sehr anspruchsvoll und derzeit ungelöst. Um die Komplexität des Gesamtsystems praktikabel zu gestalten, betrachten wir im Folgenden das Genre der Oper. Im Opernszenario existieren eine Vielzahl von Medienobjekten unterschiedlichen Typs, die in Abb. 1 anhand eines Ausschnittes aus Wagners Oper „Die Walküre“ exemplarisch aufgeführt sind. Angefangen mit den Musik- und Videoaufnahmen, dem Libretto der Oper – sowie dem Notentext –

beschreiben diese Medienobjekte allesamt dieselbe Oper. Aufgrund der unterschiedlichen Typen der Medienobjekte ist eine triviale Verknüpfung nicht möglich.

Der Rest des Artikels gliedert sich wie folgt: Zunächst stellen wir in Abschnitt 2 existierende Konzepte und verwandte Systeme aus der Literatur vor. Abschnitt 3 erläutert exemplarisch anhand der Oper „Die Walküre“ die vorliegenden Medienobjekte und ihre Eigenschaften, sowie einen Weg, diese miteinander zu verknüpfen. Dieses Verknüpfungsmodell bildet die Grundlage für ein Datenbankschema, welches im Anschluss diskutiert wird. In Abschnitt 4 stellen wir einen Demonstrator vor, der einen multimedialen Zugang zu den nun verknüpften Medienobjekten über eine webbasierte Benutzerschnittstelle erlaubt.

2 Stand der Forschung

Im Rahmen der Forschung im Bereich der computergestützten Musikverarbeitung wurden bereits zahlreiche Arbeiten angefertigt, die sich mit medienobjektübergreifenden Navigationsmöglichkeiten beschäftigt haben. Im Folgenden stellen wir einige zentrale Arbeiten dieses Bereiches vor. Der vorliegende Beitrag ist eng den Konzepten des *SyncPlayer* verknüpft [Da12]. In diesem System kann der Benutzer eine Reihe von Anfragen an eine Datenbank stellen (z. B. eine Suche mittels einer kurzen Melodieanfrage oder eine Suche innerhalb des Gesangstextes), die dann von einem Server bearbeitet werden. Die Treffer können anschließend visuell in einer graphischen Benutzeroberfläche dargestellt und akustisch wiedergegeben werden. Insbesondere die Interaktion und Navigation mit einem dargestellten Notentext erweist sich als nützliches Hilfsmittel für viele musikwissenschaftliche Aufgabenstellungen. Im Rahmen des Projekts „Freischütz Digital“ [Rö15], wurden ähnliche Benutzerschnittstellen entwickelt. Dieses Projekt befasste sich insbesondere mit der Entwicklung von computergestützten Werkzeugen zur Erforschung von kritischen Editionen [WCL09]. Hierbei bestand ein wesentlicher Schritt darin, die verschiedenen existierenden Musikaufnahmen und Notentextausgaben miteinander zur verknüpfen. Auf Basis dieser Verknüpfungen wurden spezielle graphische Benutzerschnittstellen entwickelt, die die beteiligten Musikwissenschaftler in der Erstellung einer kritischen Edition unterstützen sollten.

Im Projekt „PHENICX“ (Performances as Highly Enriched aNd Interactive Concert eXperiences) ging es um die Entwicklung von Systemen zur Verbesserung des Konzerterlebnisses von klassischen Konzertaufführungen [LGS15, Ga15]. Neben der Möglichkeit, während des Konzertes weitere Informationen für den Besucher synchron zur gespielten Musik zu präsentieren, wurden in diesem Projekt ebenfalls webbasierte Demonstratoren entwickelt, die zu den Musikaufnahmen Zusatzinformationen zur Instrumentierung oder Hintergrundwissen zu den Werken vermitteln.

Die automatisierte Synchronisation von Musikaufnahmen und dem korrespondierenden Notentext ist eine wichtige Teilaufgabe im Forschungsgebiet des Music Information Retrieval (MIR). Neben der angesprochenen Musiksynchronisation existieren eine Reihe

Medienobjekt	Medientyp	Elemente	Zeiteinteilung
Musikaufnahme	Audio	Abfolge von Audiosamples	Zeitachse (Samples/Sekunden)
Videoaufnahme	Video	Abfolge von Bildern	Zeitachse (Frames/Sekunden)
Libretto	Text	Abfolge von Zeichenketten	Zeilenaufteilung
Notentext	Bild	Abfolge von Bildern	Seitenaufteilung

Tab. 1: Übersicht der Medienobjekte im Opernszenario. Zusätzlich wird der Medientyp angegeben, sowie die Elemente des Medienobjekts und deren Zeitbezug.

von weiteren Aufgabenstellungen (z. B. inhaltsbasierte Suchen, Musikstrukturanalyse, Harmonieanalyse oder die nachträgliche Trennung von Instrumenten in Musikaufnahmen). Für einen Überblick zu vielen dieser Aufgabenstellungen verweisen wir auf die Literatur (z. B. [Mü15, We16, Li12, MBO12, WKM16, KS16, MGS12]).

3 Fallstudie: „Die Walküre“ von Richard Wagner

Am Beispiel der Oper „Die Walküre“ von Richard Wagner möchten wir in den folgenden Abschnitten Medienobjekte unterschiedlicher Typen und deren Interaktionen miteinander diskutieren. In Anlehnung an [MW03] beschreiben wir zunächst die verschiedenen Medienobjekte, die in diesem Szenario eine Rolle spielen. Mithilfe eines relationalen Datenbankschemas erläutern wir die Eigenschaften der Medienobjekte und wie diese miteinander verknüpft werden können. Auf Basis dieses Datenbankschemas entwickeln wir dann einen webbasierten Demonstrator, der prototypisch Möglichkeiten der flexiblen Navigation und audio-visuellen Darstellung unterschiedlicher – zu einem Werk in Beziehung stehenden – Medienobjekte aufzeigen soll.

3.1 Vorstellung der Medienobjekte

Einer Oper liegen verschiedene Medienobjekte zugrunde. Typisch auftretende Objekte, die wir in diesem Artikel betrachten, sind exemplarisch in Abb. 1 dargestellt. Diese sind entweder aufführungsspezifisch (z. B. Musik- und Videoaufnahmen) oder werkspezifisch (z. B. Libretto und Notentext). In unserer Modellierung der Medienobjekte nehmen wir an, dass alle Medienobjekte aus einer Abfolge von Elementen bestehen, die in einem natürlichen Zeitbezug zueinander stehen (Fortschreiten der physikalischen Zeit mit dem nächsten Element der Abfolge). In Tab. 1 sind diese Medienobjekte zusammen mit einer Beschreibung ihrer Elemente und ihrem zeitlichen Bezug aufgeführt, die wir im Folgenden detaillierter beschreiben:

Musikaufnahme: Mithilfe von Mikrofonen können Schallwellen während Aufführungen aufgezeichnet werden. Im Falle von digitalen Musikaufnahmen werden die Auslenkungen

(Amplituden) dieser Schallwellen periodisch abgetastet und als Sequenz abgespeichert. Diese Amplitudenwerte werden auch als *Samples* bezeichnet. Bei CD-Aufnahmen beträgt die Abtastrate üblicherweise 44 100 Samples pro Sekunde. Die Navigation innerhalb der Musikaufnahme erfolgt über eine physikalische Zeitachse (gemessen in Sekunden).

Videoaufnahme: Videoaufnahmen sind eine Abfolge von Einzelbildern, den sog. *Frames*, die mit einer Abtastrate von 30 Bildern pro Sekunde gespeichert werden. Die Navigation innerhalb der Videoaufnahme erfolgt ebenfalls über eine physikalische Zeitachse (gemessen in Sekunden).

Libretto: Das Libretto ist der gesprochene bzw. gesungene Text einer Oper. In unserem Szenario besteht es aus einer Abfolge von Textzeilen, die mittels ihrer Zeilennummern adressiert werden können.

Notentext: Notentext ist in unserem Szenario eine Abfolge von gescannten Notentextseiten. Diese Seiten umfassen im Schnitt circa 30 Takte und können mittels der Seitennummer aufgerufen werden.

Die Verknüpfung dieser unterschiedlichen Medienobjekte stellt eine besondere Herausforderung dar. Neben den unterschiedlichen Medientypen ist für die spätere Funktionalität unseres Demonstrators insbesondere die Verknüpfung der unterschiedlichen Zeitachsen von zentraler Bedeutung.

3.2 Verknüpfung der Medienobjekte

Wie bereits diskutiert bestehen die Medienobjekte aus diskreten, zeitlich in Bezug stehenden Abfolgen von Elementen (Samples, Frames, Textzeilen oder Notentextseiten). Dieser Bezug kann mithilfe einer abstrakten Referenzachse explizit hergestellt werden. Im Gegensatz zu den auf einer diskreten Zeitachse existierenden Elementen der Medienobjekte verwenden wir eine zeit-kontinuierliche Referenzachse. Dies stellt eine werkspezifische Zeitachse dar, deren Zeitpunkte $t \in \mathbb{R}$ in Takten angegeben sind. Hierbei werden die Taktanfänge durch ganze Zahlen $\mathbb{N} \subseteq \mathbb{R}$ kodiert (z. B. kodiert die Zahl $t = 3$ den Beginn des dritten Taktes). Alle Positionen innerhalb eines Taktes werden dann durch Nachkommastellen ausgedrückt. (z. B. verweist $t = 3.5$ auf die Mitte des dritten Taktes). In der Praxis geben wir die Positionen auf der kontinuierlichen Referenzachse auf drei Nachkommastellen genau an. Dabei wird der Anfang des Taktes 3 als 3.000 kodiert, die Mitte des Taktes als 3.500 und das Ende dieses Taktes als 3.999. Ferner nehmen wir an, dass eine taktweise Auflösung für unsere spätere Anwendung ausreicht. Wird jedoch eine Taktposition angefragt, die feiner ist als die gegebene Auflösung (z. B. Taktposition 3.750), so werden die benötigten Größen durch eine geeignete lineare Interpolation berechnet.

Abb. 2 stellt die in unserem Szenario vorkommenden Medienobjekte und die Zuordnung ihrer Elemente zu der Referenzachse schematisch dar. Generell gilt, dass wir Teilfolgen von Elementen der Medienobjekte zu geeigneten Bereichen der Referenzachse zuordnen.

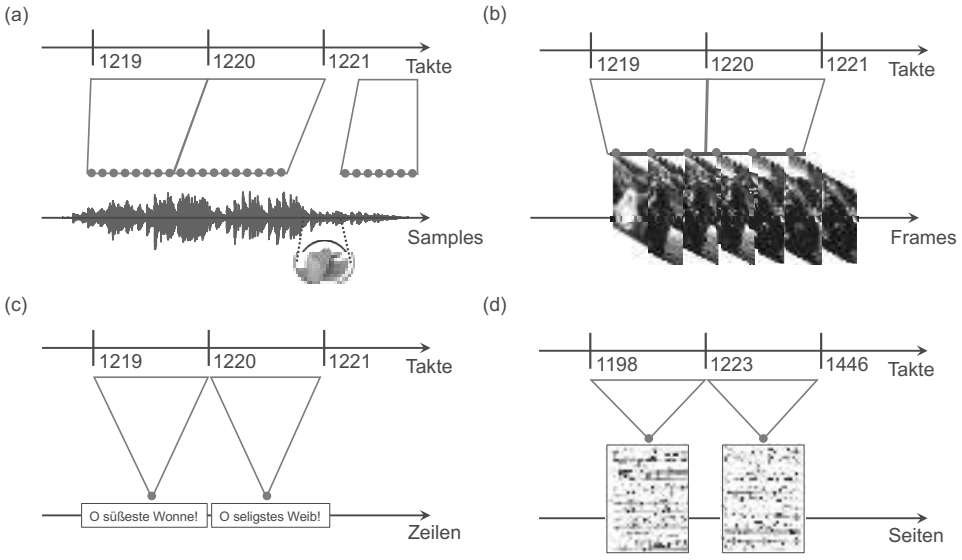


Abb. 2: Verknüpfung der Medienobjekte über Bereichsangaben mit der Referenzachse (gegeben in Takten). Musikaufnahme (a) und Musikvideo (b) ermöglichen durch ihre sehr feine Zeiteinteilung eine kleinstufige Abbildung auf die Referenzachse. Das Libretto (c) wird zeilenweise, der gescannte Notentext (d) seitenweise auf die Taktachse abgebildet.

Abb. 2a verdeutlicht dieses Konzept für eine Musikaufnahme. Eine Teilfolge von Samples der Musikaufnahme wird dem Taktbereich 1219.000 bis 1219.999 der Referenzachse zugeordnet. Ein großer Vorteil dieser Bereichszuordnungen ist, dass wir ungewollte Bereiche innerhalb der Medienobjekte überspringen können (z. B. Applaus oder Stille zu Beginn oder am Ende einer Musikaufnahme). Abb. 2b zeigt die Annotation einer Videoaufnahme, bei der Teilfolgen von Frames ebenfalls musikalisch entsprechenden Taktbereichen zugeordnet werden. Das Libretto in Abb. 2c wird zeilenweise der Referenzachse zugeordnet. Im Gegensatz zu den Musik- und Videoaufnahmen besteht das Libretto aus wesentlich weniger Elementen. Typischerweise beinhaltet eine Librettozeile den Text für mehrere Takte. Die in unserem Szenario gröbste musikalische Zeiteinteilung besitzt der gescannte Notentext (ca. 30 Takte pro Seite), siehe in Abb. 2d.

Diese Art der Zuordnung von Teilfolgen von diskreten Elementen auf eine gemeinsame, kontinuierliche Referenzachse, wird es uns später ermöglichen, Taktbereichsanfragen für alle Medienobjekte zu verarbeiten. Um diese Anfragen effizient durchführen zu können, verwenden wir ein relationales Datenbankschema, das wir im folgenden Abschnitt vorstellen.

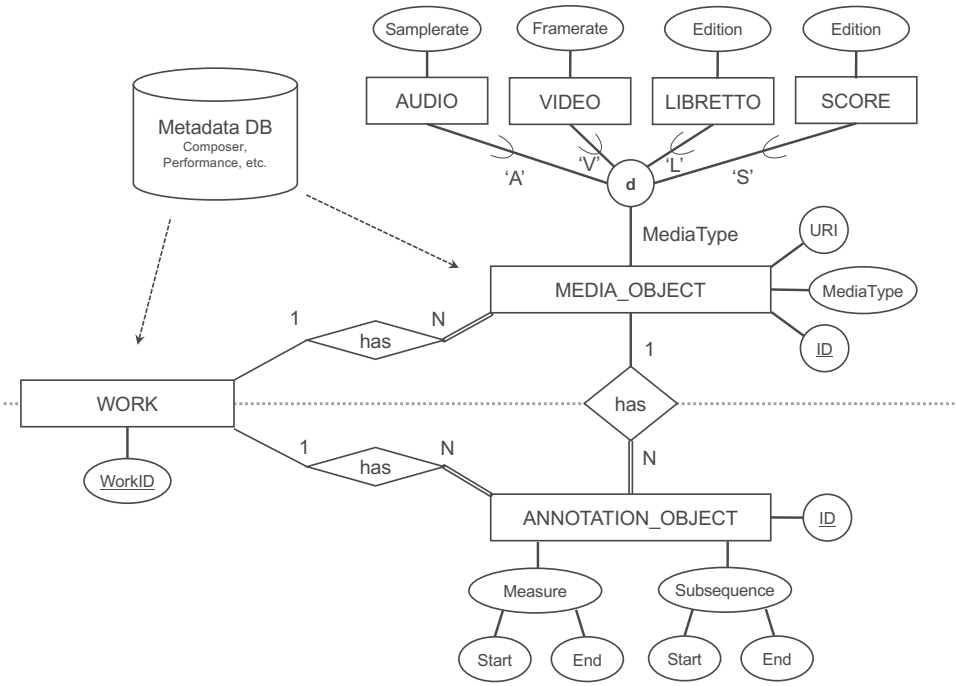


Abb. 3: Entity-Relationship Diagramm des konzeptionellen Datenbankschemas (Notation folgt [EN16]).

3.3 Datenbankschema

Ein übliches Vorgehen bei der Erstellung eines Datenbankschemas besteht in der Skizzierung des Szenarios, das mit der Datenbank erfasst werden soll (die sog. „Miniwelt“ [EN16]). In unserer Miniwelt wollen wir im Stande sein Opern und die Zusammenhänge zwischen den dazugehörigen Medientypen zu beschreiben: Opern haben einen Namen und typischerweise einen Komponisten (z. B. „Die Walküre“ von Richard Wagner). Viele Opern sind in kleinere Bereiche unterteilt; beispielsweise unterteilt sich „Die Walküre“ in drei Akte. Aufführungen von Opern werden meistens über das Aufführungsjahr, den Aufführungsort und den ausführenden Dirigenten identifiziert (z. B. 1992, Bayreuth, Daniel Barenboim). Bei einer Aufführung entstehen diverse Medienobjekte, die mithilfe einer Referenzachse (gegeben in Takten), miteinander verknüpft sind.

Abb. 3 zeigt eine mögliche Modellierung unserer Miniwelt als sog. Entity-Relationship Diagramm (ER-Diagramm in Chen-Notation [EN16]). Unser Modell startet mit der Beschreibung eines Werks mithilfe des Entitätstyps `WORK`, welches über das Attribut `WorkID` identifiziert wird. Der Einfachheit halber betrachten wir in unserem Szenario die einzelnen Akte einer Oper als separate Werke (ähnlich wie die Sätze einer Symphonie oder die Tänze

einer Suite). Der Akt einer Oper entspricht damit einer Entität des Typs WORK, welche über das Attribut WorkID identifiziert werden kann. Die WorkID für den ersten Akt der „Walküre“ kodieren wir als “WWV086B-1“, wobei WWV das Wagner-Werk-Verzeichnis abkürzt und 86B-1 darin den ersten Akt der Oper „Die Walküre“ beschreibt. In diesem Beitrag nehmen wir ferner an, dass die Metadaten über den Komponisten etc. aus einer bereits existierenden „Metadata DB“ entstammen, die strukturierte Informationen mithilfe bereits bestehender Schemata bereitstellt. Ein bekannter Dienst, der Metadaten für Musikaufnahmen zur Verfügung stellt, ist die offene Musik-Enzyklopädie MusicBrainz[4]. Im Zusammenhang mit dem Semantic Web[5] stellt die „Music Ontology“ [Ra07] Konzepte zur Verfügung, um Metadaten von Musik abzubilden. Gleichzeitig ermöglicht die Verwendung der Music Ontology die einfache Bereitstellung und Integration für und mit anderen Diensten aus dem Semantic Web.

Im Falle unseres Opernszenarios, liegen einer Oper mehrere miteinander verknüpfbare Medienobjekte zu Grunde. Um diese Medienobjekte in der Datenbank abzubilden wird zunächst der abstrakte Entitätstyp MEDIA_OBJECT eingeführt. Jedes Medienobjekt beschreibt eine konkrete Ausprägung dieses abstrakten Typs: AUDIO, VIDEO, LIBRETTO und SCORE. Das Datenbankschema kann so leicht um weitere Medientypen erweitert werden. Mithilfe des Attributs URI (Uniform Resource Identifier) wird zu den Quelldaten verwiesen (z. B. eine lokal gespeicherte Videodatei oder eine Adresse im Internet). Jeder dieser Entitäten werden nun typischerweise mehrere Entitäten des Typs ANNOTATION_OBJECT zugeordnet. Die zusammengesetzten Attribute Subsequence und Measure modellieren die Abbildung eines Medienobjekts auf die Referenzachse. Mithilfe von Start und End wird ein Sequenz von Elementen des Medienobjektes mit einem Bereich auf der Referenzachse verknüpft (z. B. wird in Abb. 2a der Taktbereich {1219.000, 1219.999} wird mit dem Bereich {3408.65, 3411.03} der Musikaufnahme zugeordnet). Abschließend fügen wir die 1:N-Beziehung zwischen den Entitätstypen WORK und ANNOTATION_OBJECT ein, um den Zusammenhang zwischen Werken und ihren Annotationen zu verdeutlichen.

3.4 Einpflegen neuer Werke

Das Einpflegen neuer Werke erfolgt mithilfe einer Mischung aus manuellen Annotationen und der Verwendung automatisierter Methoden. Der zeitaufwendigste Schritt ist hierbei die Bestimmung der Taktanfänge in den Musikaufnahmen (z. B. unter Verwendung des frei verfügbaren Programms „Sonic Visualiser“ [CLS10]). Im Falle der „Walküre“ haben wir diese Taktannotationen lediglich für eine Referenzaufnahme angefertigt. Mithilfe automatisierter Synchronisationsverfahren konnten wir diese Annotationen dann auf alle anderen Aufnahmen übertragen [PDM16]. Alle weiteren werkbezogenen Multimediaobjekte (Libretto und Notentext) wurden für diesen Demonstrator manuell annotiert und in die Datenbank übertragen.

[4] https://www.musicbrainz.org

[5] https://www.w3.org/standards/semanticweb/

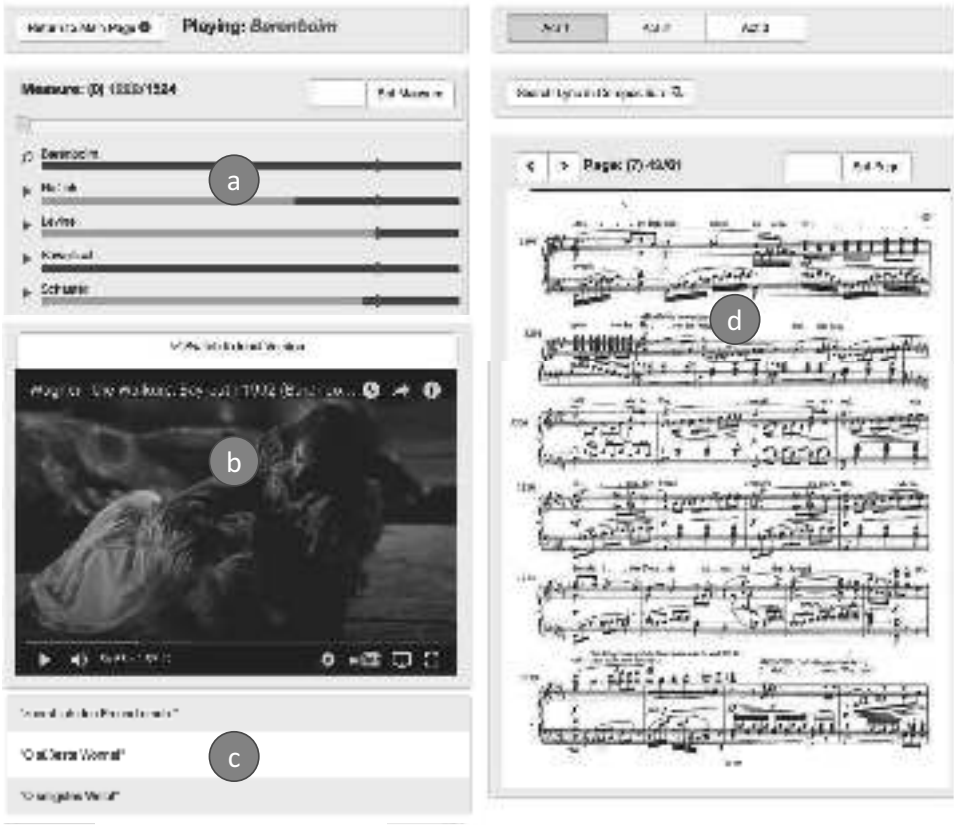


Abb. 4: Screenshot des webbasierten Demonstrators bestehend aus fünf Elementen. (a) Übersicht über die verfügbaren Musikaufnahmen. Die verfügbaren Bereiche innerhalb der jeweiligen Version sind farblich gekennzeichnet. (b) Einbindung einer Videoaufnahme von der Videoplattform YouTube. (c) Textuelle Darstellung der vorherigen Librettozeile, der aktuell gesungenen, sowie der nachfolgenden Zeile. (d) Gescannter Notentext mit Navigationsfeldern zum seitenweisen blättern.

4 Webbasierter Demonstrator

Basierend auf dem Datenbankschema wurde ein webbasierter Demonstrator entwickelt, der das Potenzial der hier vorgestellten Navigationsmöglichkeiten verdeutlichen soll. Die Grundidee des Demonstrators ist es, frei verfügbare Videoaufnahmen (z. B. von der Videoplattform YouTube) mit weiteren Informationen rund um das dargestellte Werk anzureichern. Das Layout der HTML-Seiten im Webbrowser wurde mit dem frei verfügbaren Framework `Bootstrap`[6] erstellt. Für die Interaktion im Webbrowser wurde `JavaScript`[7] verwendet

[6] `http://www.getbootstrap.com`
[7] `https://www.javascript.com`

und für die serverseitige Logik das Python-Framework `Flask`[8]. Anhand verschiedener Aufnahmen von der Oper „Die Walküre“ wollen wir die Funktionalitäten im folgenden näher erläutern.

Abb. 4 zeigt einen Screenshot des Demonstrators, in dem jedes unserer Medienobjekte ein korrespondierendes Visualisierungselement besitzt. Abb. 4a zeigt die verfügbaren Versionen (YouTube Videos) des ersten Aktes der Oper an. Die verfügbaren Taktbereiche in der jeweiligen Version sind farblich hervorgehoben. Zum Beispiel handelt es sich bei der Version „Barenboim“ und „Sawallisch“ um Gesamtaufnahmen des ersten Aktes (Takte 0 bis 1524), wohingegen beispielsweise „Levine“ lediglich einen Teilbereich abdeckt (Takte 1214 bis 1524). Der aktuell abgespielte Takt wird durch eine vertikale Markierung angezeigt. Die korrespondierende Videoaufnahme ist in Abb. 4b gezeigt. Abb. 4c zeigt die aktuelle Zeile des Librettos an. Zur besseren Verfolgbarkeit werden zusätzlich sowohl die vorhergehende, als auch die darauf folgende Librettozeile angezeigt. Der Notentext wird seitenweise dargestellt, siehe Abb. 4d.

Die Navigation innerhalb der Oper ist auf verschiedene Weisen möglich. Die Navigation erfolgt entweder über die Referenzachse, die Eingabe eines spezifischen Taktes oder die direkte Anwahl eines Taktes in einem der farblich hervorgehobenen Bereiche. Letzteres ermöglicht den taktgenauen Vergleich von verschiedenen Aufführungen. (z. B. die Aufführung geleitet von Daniel Barenboim in Bayreuth von 1992 mit der Interpretation von Wolfgang Sawallisch in der Bayerischen Staatsoper von 1989). Innerhalb des Notentextes ist es zudem möglich, seitenweise zu springen, sowie eine gewünschte Seite direkt anzuwählen.

Der webbasierte Demonstrator ist unter der folgenden Webadresse erreichbar:

`http://mir.audiolabs.uni-erlangen.de/2017-GI-DemoWalkuere`

5 Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Artikel haben wir beschrieben, wie sich eine Oper als Multimediaszenario modellieren lässt, um frei verfügbare Musikvideos mit weiteren Daten und Informationen anzureichern. Die beteiligten Medienobjekte wurden dabei über eine Referenzachse verknüpft. Mithilfe eines Datenbankschemas wurden diese Verknüpfungen in einer Datenbank abgebildet. Weiterhin haben wir einen webbasierten Demonstrator vorgestellt, der es unter der Verwendung des Datenbankmodells ermöglicht, innerhalb der Oper medienobjektübergreifend zu navigieren und verschiedene Versionen derselben Oper miteinander zu vergleichen.

Unser Demonstrator schafft die Grundlage für eine ganze Reihe weiterer Arbeiten. Ein wichtiger Aspekt liegt in der Entwicklung erweiterter Suchfunktionalitäten. Textuelle Suchen im Libretto könnten durch inhaltsbasierte Suchen in den Musikaufnahmen ergänzt werden.

[8] `http://flask.pocoo.org`

Beispielsweise könnte durch das Auffinden wiederkehrender melodischer, harmonischer oder rhythmischer Muster eine weitere Navigationsebene eingefügt werden. Gerade in Wagners Opern spielen Leitmotive eine wichtige Rolle. Leitmotive sind wiederkehrende charakteristische Melodielinien, die bei Wagner beispielsweise einzelnen Charakteren (z. B. das „Siegfried-Motiv“) oder Gegenständen (z. B. das „Schwert-Motiv“) zugeordnet sind. Durch ihr regelmäßiges Auftreten erzeugen sie eine Art Struktur in diesen lang andauernden Opern und dienen dem Verständnis der Oper.

Eine weitere Ergänzung unseres Demonstrators ist die Einbettung weiterer Informationen aus dem Semantic Web. Beispielsweise können über Dienste wie DBpedia[9] Wikipedia-einträge über das angezeigte Werk oder den Komponisten eingebettet werden. Neben den rein technischen Herausforderungen, sehen wir diesen Demonstrator auch als eine Art Präsentation für das breite Publikum. In vielen öffentlich geförderten Forschungsprojekten (auch in unseren) entstehen Daten, die kaum eine Verwendung außerhalb der anvisierten Projektziele erfahren. Mithilfe des Demonstrators machen wir die entstandenen Daten für jeden interessierten Musikhörer erfahrbar und direkt nutzbar.

Danksagungen

Zunächst möchten wir den studentischen Hilfskräften unserer Arbeitsgruppe für ihre wertvolle Arbeit bei der manuellen Erstellung von Musikannotationen bedanken, die dem Demonstrator zugrunde liegen. Ferner möchten wir uns bei Frank Zalkow, Christof Weiß und Thomas Prätzlich für die Hilfe bei der automatisierten Übertragung der Annotationen auf die YouTube-Videos bedanken.
Die International Audio Laboratories Erlangen sind eine Gemeinschaftseinrichtung der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg (FAU) und des Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen IIS. Die vorgestellte Arbeit wurde durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft gefördert (MU 2686/6–1, MU 2686/7–1).

Literaturverzeichnis

[CLS10] Cannam, Chris; Landone, Christian; Sandler, Mark B.: Sonic Visualiser: An Open Source Application for Viewing, Analysing, and Annotating Music Audio Files. In: Proceedings of the International Conference on Multimedia. Florence, Italy, S. 1467–1468, 2010.

[Da12] Damm, David; Fremerey, Christian; Thomas, Verena; Clausen, Michael; Kurth, Frank; Müller, Meinard: A digital library framework for heterogeneous music collections: from document acquisition to cross-modal interaction. International Journal on Digital Libraries: Special Issue on Music Digital Libraries, 12(2-3):53–71, 2012.

[EN16] Elmasri, Ramez; Navathe, Shamkant B.: Fundamentals of Database Systems. Pearson Higher Education, 7. Auflage, 2016.

[Ga15] Gasser, Martin; Arzt, Andreas; Gadermaier, Thassilo; Grachten, Maarten; Widmer, Gerhard: Classical Music on the Web - User Interfaces and Data Representations. In:

[9] http://wiki.dbpedia.org

Proceedings of the International Conference on Music Information Retrieval (ISMIR). S. 571–577, 2015.

[KS16] Knees, Peter; Schedl, Markus: Music Similarity and Retrieval. Springer Verlag, 2016.

[LGS15] Liem, Cynthia C. S.; Gómez, Emilia; Schedl, Markus: PHENICX: Innovating the Classical Music Experience. In: Proceedings of the IEEE International Conference on Multimedia and Expo Workshops (ICMEW). Torino, Italy, S. 1–4, June–July 2015.

[Li12] Liem, Cynthia C. S.; Müller, Meinard; Tjoa, Steven K.; Tzanetakis, George: 2nd International ACM Workshop on Music Information Retrieval with User-centered and Multimodal Strategies (MIRUM). In: Proceedings of the International Conference on Multimedia (ACM Multimedia). S. 1509–1510, 2012.

[MBO12] Montecchio, Nicola; Buccio, Emanuele Di; Orio, Nicola: An Efficient Identification Methodology for Improved Access to Music Heritage Collections. Journal of Multimedia, 7(2):145–158, 2012.

[MGS12] Müller, Meinard; Goto, Masataka; Schedl, Markus, Hrsg. Multimodal Music Processing, Jgg. 3 in Dagstuhl Follow-Ups. Schloss Dagstuhl - Leibniz-Zentrum für Informatik, Germany, 2012.

[Mü15] Müller, Meinard: Fundamentals of Music Processing. Springer Verlag, 2015.

[MW03] Meyer-Wegener, Klaus: Multimedia Datenbanken. Teubner, Wiesbaden, 2. Auflage, 2003.

[PDM16] Prätzlich, Thomas; Driedger, Jonathan; Müller, Meinard: Memory-Restricted Multiscale Dynamic Time Warping. In: Proceedings of the IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP). Shanghai, China, S. 569–573, 2016.

[Ra07] Raimond, Yves; Abdallah, Samer; Sandler, Mark; Giasson, Frederick: The Music Ontology. In: Proceedings of the International Society for Music Information Retrieval Conference (ISMIR). Vienna, Austria, S. 417–422, 2007.

[Rö15] Röwenstrunk, Daniel; Prätzlich, Thomas; Betzwieser, Thomas; Müller, Meinard; Szwillus, Gerd; Veit, Joachim: Das Gesamtkunstwerk Oper aus Datensicht – Aspekte des Umgangs mit einer heterogenen Datenlage im BMBF-Projekt "Freischütz Digital". Datenbank-Spektrum, 15(1):65–72, 2015.

[WCL09] Wiering, Frans; Crawford, Tim; Lewis, David: Digital critical editions of music: A multidimensional model. In (Crawford, Tim; Gibson, Lorna, Hrsg.): Modern Methods for Musicology, S. 23–45. Routledge, 2009.

[We16] Weihs, Claus; Jannach, Dietmar; Vatolkin, Igor; Rudolph, Guenter: Music Data Analysis: Foundations and Applications. CRC Press, 2016.

[WKM16] Weiß, Christof; Kleinertz, Rainer; Müller, Meinard: Möglichkeiten der computergestützten Erkennung und Visualisierung harmonischer Strukturen – eine Fallstudie zu Richard Wagners "Die Walküre". In (Auhagen, Wolfgang; Hirschmann, Wolfgang, Hrsg.): Bericht zur Jahrestagung der Gesellschaft für Musikforschung (GfM) 2015 in Halle/Saale. Schott Campus, Mainz, Germany, 2016.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 87

Entwicklung eines Music Information Retrieval-Tools zur Melodic Similarity-Analyse deutschsprachiger Volkslieder

Manuel Burghardt[1] und Lukas Lamm[2]

Abstract: Wir präsentieren einen Beitrag zum Einsatz computergestützter Methoden für die quantitative Untersuchung einer großen Sammlung symbolisch repräsentierter Melodien deutschsprachiger Volkslieder. Im Zuge dessen wurde ein *Music Information Retrieval*-Tool (MIR) konzipiert, mit dem gezielt nach Liedblättern anhand bestimmter Metainformationen (z.B. *Jahr*, *Sangesort*, etc.), bestimmter Wörter in den Liedtexten oder bestimmter Sequenzen innerhalb der monophonen Melodien gesucht werden kann. Darüber hinaus kann mit dem MIR-Tool untersucht werden, ob es bspw. wiederkehrende Muster oder melodische Universalien in deutschsprachigen Volksliedern gibt. Insgesamt stehen drei Repräsentationsebenen für Suchanfragen zur Verfügung: Die Suche nach konkreten Melodiefragmenten (Tonhöhe / Tondauer), die Suche nach Intervallfolgen und die Suche nach abstrakten Melodiekonturen im Parsons-Code. Eine zentrale Herausforderung für die Umsetzung eines solchen MIR-Tools mit mehreren Repräsentationsebenen ist die Wahl einer geeigneten *melodic similarity*-Komponente. Wir beschreiben die Implementierung verschiedener *edit distance*-basierter Ansätze und präsentieren die Ergebnisse einer Evaluationsstudie für die unterschiedlichen Implementierungen. Alle Algorithmen und *Converter* wurden als generische Toolbox umgesetzt und stehen unter der MIT *open source*-Lizenz für die Nachnutzung zur freien Verfügung.

Keywords: Music Information Retrieval, Melodic Similarity, Edit Distance, Ngrams

1 Einleitung

Die weitreichenden Effekte der Digitalisierung haben längst auch die Wissenschaft erreicht. Insbesondere in den geistes- und kulturwissenschaftlichen Disziplinen, die bislang keine ausgeprägte Tradition in der Anwendung quantitativ-empirischer Methoden haben, ergeben sich durch die unmittelbare Verfügbarkeit großer Mengen maschinenlesbarer Forschungsdaten plötzlich ganz neue Möglichkeiten der computergestützten Analyse, die häufig unter dem Begriff der *Digital Humanities* [TNV13] zusammengefasst werden. In diesem Beitrag, der im Schnittfeld von Medieninformatik, Musikwissenschaft und Digital Humanities einzuordnen ist, beschreiben wir den Einsatz computergestützter Methoden zur quantitativen Untersuchung einer großen Sammlung deutschsprachiger Volkslieder, welche im nächsten Kapitel näher vorgestellt werden soll.

[1] Lehrstuhl für Medieninformatik, Universität Regensburg, manuel.burghardt@ur.de
[2] Lehrstuhl für Medieninformatik, Universität Regensburg, info@lukaslamm.com

doi:10.18420/in2017_05

2 Kontext: Die Regensburger Liedblattsammlung

Dieses Kapitel skizziert die Beschaffenheit der in Regensburg bestehenden Liedblattsammlung, die mithilfe computergestützter Methoden analysiert werden soll. Weiterhin werden aktuell laufende Ansätze zur digitalen Erschließung und Transkription der Liedblätter beschrieben.

2.1 Charakterisierung der Liedblätter

Die Universitätsbibliothek Regensburg verwaltet seit einigen Jahren umfangreiche Quellen zur Volksmusikforschung im Rahmen des Projekts „Regensburger Volksmusik-Portal“[3]. Die Geschichte dieser Quellen reicht zurück bis in das Jahr 1914, als das *Deutsche Volksliedarchiv* (DVA) in Freiburg im Breisgau als Zentralstelle für die systematische Sammlung deutscher Volkslieder gegründet wurde [Kr13]. Die Liedblattsammlung umfasst etwa 140.000 Blätter mündlich oder handschriftlich tradierter Volkslieder aus dem gesamten deutschsprachigen Raum und ist, was Abdeckung und Umfang angeht, in dieser Form einzigartig. Heute liegen die Liedblätter im Magazin der Universitätsbibliothek Regensburg als lose Einzelblätter vor (vgl. Abb. 1). Die Blätter enthalten einerseits handschriftliche, monophone Melodien und andererseits Liedtexte, welche zumeist mit einer Schreibmaschine verfasst wurden. Zu den Liedblättern existieren darüber hinaus Metadaten wie *Titel*, *Text-Incipit*, *Sangesort* und *Jahr*, die ursprünglich in einem umfangreichen Zettelkastensystem vorlagen, jedoch im Rahmen bestehender Vorarbeiten manuell in eine elektronische Datenbank (*Augias*) übertragen wurden.



Abb. 1: Beispielhaftes Liedblatt aus der Regensburger Liedblattsammlung.

[3] http://www.uni-regensburg.de/bibliothek/projekte/rvp/index.html; Hinweis: Sämtliche in diesem Artikel erwähnte URLs wurden zuletzt am 5. Mai 2017 überprüft.

2.2 Digitale Erschließungsansätze

In Zusammenarbeit mit der Universitätsbibliothek werden seit 2016 fortlaufend Scans der Liedblätter erstellt und mit den bereits vorhandenen digitalen Metadaten verknüpft. In einem zweiten Schritt werden dann die Scans inhaltlich erfasst und in ein maschinenlesbares Format gebracht. Aufgrund der großen Anzahl von Liedblättern, wurden hier anfangs Möglichkeiten der automatischen Erfassung systematisch evaluiert [Bu17]. Im Falle der Liedtexte kommt man dabei mit Standard-OCR Tools (*optical character recognition*) auf durchschnittlich 80 % Erkennungsgenauigkeit, allerdings mit einer sehr hohen Streuung. Die meisten Liedblätter werden dabei mit einer hohen Genauigkeit erkannt, einige wenige Blätter, die etwa handschriftlich oder mit sehr vielen Korrekturen verfasst wurden, sind hier negative Ausreißer.

Für die automatische Erfassung der handschriftlichen Melodien ist die Erkennungsgenauigkeit von OMR-Tools (*optical music recognition*), mit durchschnittlich 36 % Erkennungsgenauigkeit beim am besten evaluierten Tool, deutlich schlechter [Bu17]. Aus diesem Grund wurde als alternative Erschließungsstrategie ein manueller Transkriptionsansatz umgesetzt, welcher aufgrund der erheblichen Datenmenge von mehreren tausend Liedblättern auf Crowdsourcing zurückgreift [BS17]. Die transkribierten Melodien werden in einem JSON-basierten (*JavaScript Object Notation*) Format gespeichert, da sowohl die Transkriptionskomponente als auch die Analysekomponente für die Liedblätter mit Webtechnologien, insbesondere *JavaScript*, umgesetzt wurden. Das so generierte *MusicJSON*-Format [BS17] kann allerdings problemlos in bestehende Formate, wie etwa *MusicXML* oder *MEI* (*Music Encoding Initiative*), transformiert werden.

3 Projektkontext und Ziele

Für die im vorherigen Kapitel beschriebene Datengrundlage, die seit 2016 nach und nach digital erschlossen wird, soll ein webbasierter Zugang geschaffen werden, der neben der üblichen Exploration gescannter Faksimiles der Originalliedblätter zusätzlich einen neuartigen, quantitativen Zugang zu den Daten ermöglicht und diese anhand unterschiedlicher Parameter durchsuchbar und analysierbar macht. Konkret heißt dies, dass gezielt nach Liedblättern anhand bestimmter Metainformationen (z.B. *Jahr*, *Sangesort,* etc.), bestimmter Wörter oder Phrasen in den Liedtexten, oder bestimmter Muster innerhalb der monophonen, symbolisch repräsentierten Melodien gesucht werden kann. In weiterführender Perspektive soll, in Kooperation mit der Musikwissenschaft sowie auch der Vergleichenden Kulturwissenschaft, untersucht werden, ob es melodische Universalien in deutschsprachigen Volksliedern gibt, einerseits für das gesamte Liedblattkorpus, andererseits aus einer regionalen und diachronen Perspektive. Darüber hinaus soll das Verhältnis von melodischen Mustern und Liedtexten analysiert werden: kommen also bspw. bestimmte Melodien oder einzelne Rhythmen oder Intervalle besonders häufig in Texten mit auffälligen Schlüsselwörtern vor?

Die Relevanz des skizzierten Projektvorhabens zur computergestützten Analyse einer großen Sammlung deutschsprachiger Volkslieder zeigt sich u.a. durch eine Vielzahl von bestehenden Studien im Bereich der automatischen Klassifikation [BVH16; Hi12; Sa12; VVW13] sowie der *melodic similarity*-basierten Exploration [JVV15; MF04a] von Volksliedern. Ein wesentlicher Grund für die Fokussierung auf „einfache" Volkslieder in der quantitativen Musikwissenschaft liegt dabei sicherlich auf der Monophonie der Stücke, die wesentlich leichter durchsuch- und vergleichbar sind als polyphone Werke und damit gewissermaßen einen Spezialfall in der Musikanalyse darstellen. Darüber hinaus stehen bei der Analyse von Volksmusik häufig „Massenprobleme im Vordergrund, die ‚von Hand' weder subjektiv noch intuitiv bewältigt werden können" [Je91:21]. Vielmehr sollen Erkenntnisse über Zusammenhänge zwischen Melodien auf struktureller Ebene gewonnen werden [Je91].

Aus Perspektive der Informatik ergibt sich somit als wesentliches Ziel die Erstellung eines Informationssystems, welches die Suche nach Melodiesequenzen in einer großen Sammlung von Liedblättern ermöglicht. Um – jenseits von *exact match*-Suchen – auch weiterreichende Zusammenhänge und Verwandtschaftsbeziehungen zwischen Melodien auf struktureller Ebene identifizieren zu können, muss eine entsprechende *matching*-Funktion zur graduellen Erfassung melodischer Ähnlichkeit umgesetzt werden. Wir beschreiben im Folgenden die Implementierung und Evaluierung einer solchen *melodic similarity*-Komponente, die über einen frei wählbaren Schwellwert die Suche nach ähnlichen Melodiesequenzen und –mustern in deutschsprachigen Liedblättern erlaubt.

4 Ebenen des Melodievergleichs

Eine wesentliche Voraussetzung für den Abgleich melodischer Ähnlichkeit zwischen unterschiedlichen Liedblättern ist zunächst deren formale Repräsentationsebene. Dabei können als Standardfall konkrete Melodiesequenzen, basierend auf der genauen Tonhöhe und -länge, miteinander verglichen werden. In Wahrnehmungsexperimenten zur melodischen Ähnlichkeit von Stücken stellt [Do78] schon früh fest, dass eine nicht ganz exakte Nachahmung einer Melodie von Probanden häufig nicht vom Original zu unterscheiden ist, wenn den beiden Variationen die gleiche Melodiekontur zugrunde liegt. Eine Melodiekontur klammert den Parameter *Tonlänge* aus und abstrahiert Melodien als eine reine Sequenz von Intervallen oder Tonhöhen [TWV05]. In einer weiteren Abstraktion wird im sog. Parsons-Code [Pa75] zusätzlich die genaue Tonhöhe einzelner Noten ausgeklammert und stattdessen nur nach Notenfolgen anhand deren Ansteigen (u = *up*), Abfallen (d = *down*) oder Gleichbleiben (r = *repeat*) gesucht.

Um ein möglichst flexibles Analysewerkzeug zu erhalten, welches die Analyse von Melodien anhand unterschiedlich abstrakter Repräsentationsebenen erlaubt, wurden in unserem System sowohl die exakte Melodiesuche als auch eine Intervallsuche und eine Par-

sons-Code-Suche umgesetzt (vgl. Abb. 2). Somit gibt es bereits bei der Eingabe von Suchanfragen grundlegende Möglichkeiten der Abstraktion[4]. Darüber hinaus kann für jede Suchanfrage der gewünschte Grad der Ähnlichkeit definiert werden. Dabei bedeutet ein Maximalwert von 100%, dass die formulierte Suchanfrage exakt so im Zieldokument vorkommen muss, damit es in die Ergebnismenge aufgenommen wird. Die Umsetzung der zugrundeliegenden *melodic similarity*-Komponente wird im nächsten Kapitel beschrieben.

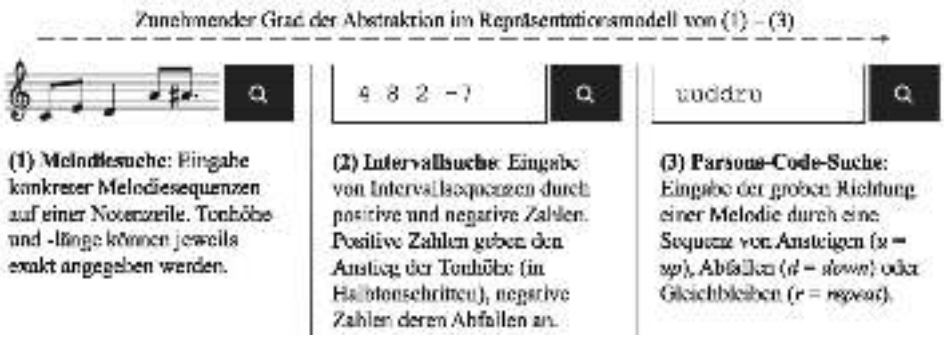


Abb. 2: Überblick zu allen umgesetzten Repräsentationsebenen, auf denen die Suche im MIR-System unterstützt wird.

5 Melodic Similarity

Für die computergestützte Identifikation von typischen Themen, Melodiemustern oder gar Melodiefamilien hat sich in der Literatur der Begriff der *melodic similarity*, also der Ähnlichkeit zwischen Melodien, eingebürgert [vgl. Be04; CM05; GAM02; Ho01; MS03; MF04b; Ty07].

5.1 *Edit distance* als grundlegendes Ähnlichkeitsmaß für notierte Musik

Im Rahmen einer systematischen Evaluationsstudie stellen [MF04a] fest, dass es im Bereich der *melodic similarity* eine Vielzahl unterschiedlicher Ähnlichkeitsmaße gibt, die von der Editierdistanz und N-Grammen über Korrelations- und Differenzkoeffizienten bis hin zu *Hidden Markov*-Modellen reichen. Als Teilergebnis der Evaluationsstudie zu 39 unterschiedlichen Maßen stellte sich heraus, dass *edit distance*-basierte Maße im Vergleich mit Ähnlichkeitsbewertungen von menschlichen Musikexperten am besten abschneiden. Aufgrund dieser positiven Ergebnisse und der Beschaffenheit unseres Liedblattkorpus, welches in Form symbolisch repräsentierter Melodien vorliegt, kommt für die

[4] Hinweis: Da die Lieder im Projektkorpus je nach Präferenz des Aufschreibers in willkürlichen Tonarten notiert wurden, werden alle Lieder zur besseren Vergleichbarkeit einheitlich nach C-Dur transponiert.

Umsetzung der *melodic similarity*-Komponente ebenfalls ein *edit distance*-Maß zum Einsatz. Dabei wird für die Repräsentationsebenen Intervallfolgen und Parsons-Code ein standardmäßiger *edit distance*-Ansatz verwendet [vgl. WF74]. Für die Repräsentationsebene der exakten Melodien, also der Berücksichtigung der genauen Tonhöhe und -länge, hat sich hingegen der Algorithmus von [MS90] etabliert (vgl. auch GAM04; GAR07]. Der Mongeau-Sankoff-Algorithmus [MS90] verwendet neben den üblichen *edit distance*-Operationen „Einfügen", „Löschen" und „Ersetzen" zusätzlich die Operationen „Fragmentierung" (*fragmentation*) und „Konsolidierung" (*consolidation*). Dabei wird bei der Fragmentierung eine Note aus der Quellsequenz durch mehrere Noten in der Zielsequenz ersetzt (bspw. eine ganze Note durch vier Viertelnoten). Konsolidierung beschreibt den umgekehrten Prozess der Ersetzung mehrerer Noten durch eine einzige Note. Die einzelnen Operationen werden darüber hinaus unterschiedlich gewichtet: Die Gewichtung für die Ersetzung einer Note ergibt sich beispielsweise aus der Summe der Intervalldifferenz und der Differenz der Tondauer unter Berücksichtigung von Konsonanz und Dissonanz [MS90].

5.2 Optimierung durch N-Gramm-Matching

Da das MIR-Tool auch die Suche nach Melodiefragmenten, die sehr viel kürzer sind als die vollständigen Musikstücke, unterstützen soll, ist ein reiner *edit distance*-Ansatz nicht sinnvoll. Beim Abgleich einer kurzen Melodiesequenz mit den jeweils vollständigen Melodien der einzelnen Liedblätter würden so sehr hohe Distanzwerte entstehen, da fehlende Noten der kurzen Sequenz mit der Einfügen-Operation aufgefüllt würden. Wir begegnen diesem Problem, indem wir die zu durchsuchenden Musikstücke in N-Gramme entsprechend eines Vielfachen der Länge der Suchanfrage aufteilen. Diese N-Gramme werden dann anstelle des gesamten Lieds mit der jeweiligen Suchanfrage abgeglichen. Wenn also x der Länge der Suchanfrage entspricht, werden einerseits N-Gramme der Länge x gebildet, um exakte Treffer in den Musikstücken aufzufinden. Zusätzlich sollen N-Gramme mit der Länge 1.5 x (abgerundet bei Dezimalwerten) und 2 x untersucht werden, um den Effekt der Operationen „Fragmentierung" und „Konsolidierung" entsprechend berücksichtigen zu können. Abb. 3 zeigt ein Beispiel für die Aufteilung einer Melodie in N-Gramme bei einer Suchanfrage der Länge 3. Dadurch ergibt sich eine Liste mit N-Grammen der Längen 3, 4 und 6, wobei für jedes N-Gramm die Ähnlichkeitsberechnung mit der Suchanfrage erfolgt. Für das spätere Ranking der Suchergebnisse nach deren *melodic similarity scores*, werden jeweils diejenigen N-Gramme mit den besten Bewertungen herangezogen. Zu Testzwecken implementieren wir einerseits die Originalvariante des Mongeau-Sankoff-Algorithmus (*ms*) [MS90] sowie auch eine erweiterte Variante (*gar*) von [GAR07].

Sämtliche in diesem Kapitel erwähnten Algorithmen wurden als generische Toolbox umgesetzt und stehen unter der MIT *open source*-Lizenz für die Nachnutzung zur freien Verfügung[5]. Wie in Kapitel 2.2 beschrieben, ist das Austauschformat im Rahmen des Regens-

[5] https://github.com/freakimkaefig/musicjson-toolbox

burger Liedblattprojekts *MusicJSON*. Dementsprechend ist der Standard-Input für alle implementierten Algorithmen das *MusicJSON*-Format. Für die flexible Nutzung der Toolbox für Musikdaten in anderen Formaten wurden weiterhin diverse *Converter*[6] erstellt, etwa für *MusicXML* und die *ABC*-Notation.

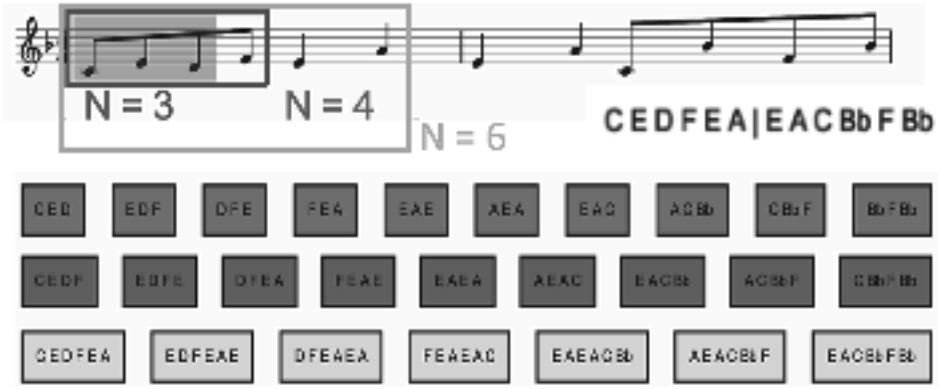


Abb. 3: Aufteilung einer beispielhaften Tonfolge in drei unterschiedlich lange N-Gramme.

6 Evaluationsstudie

Dieses Kapitel beschreibt die Ergebnisse einer Evaluationsstudie zur Validierung der umgesetzten *melodic similarity*-Maße. Die Evaluation erfolgt dabei einerseits statistisch, mittels Rangkorrelationsanalyse. Andererseits werden ausgewählte Liedblattpaare in einer qualitativen Fallstudie zusätzlich von Hand analysiert und mit den automatisch generierten *melodic similarity*-Ergebnissen verglichen.

6.1 Rangkorrelationsanalyse

Als Vorbild für die statistische Evaluation der *melodic similarity*-Maße dient der Evaluationstrack *MIREX* (*Music Information Retrieval Evaluation eXchange*)[7], welcher regelmäßig im Rahmen der einschlägigen *ISMIR*-Konferenz[8] durchgeführt wird. Da die *ground truth*-Daten des Evaluationstracks außerhalb von MIREX nicht verfügbar sind, wurde ein alternatives Evaluationsdesign gewählt: Aufgrund der einfachen Verfügbarkeit und der strukturellen Verwandtschaft zum Regensburger Liedblattkorpus, wurde eine Teilsammlung (106 Liedblätter) des Deutschen Volksliedarchivs in Freiburg aus der *Essen Folksong*

[6] https://github.com/freakimkaefig/musicjson2abc/
[7] http://www.music-ir.org/mirex/wiki/MIREX_HOME
[8] http://www.ismir.net/

Collection herangezogen, welche auch Teil der MIREX-Testdaten ist[9] und über die Online-Datenbank *KernScores*[10] frei zur Verfügung steht. Im Rahmen der Evaluation wurden die beiden Varianten für die Melodiesuche (*ms*, *gar*) sowie auch die Algorithmen für Intervallsuche (*interval*) und Parsons-Code (*parsons*) auf das Korpus der 106 Liedblätter angewandt, wobei jedes Liedblatt mit jedem anderen verglichen wurde (N=11.236). Als Vergleichsgröße wurde der im Rahmen der MIREX 2015 positiv evaluierte Algorithmus *ShapeTime* [Ur15], der fertig implementiert zur Verfügung steht, ebenfalls auf dieses Testkorpus angewandt. Die Ergebnisse des *melodic similarity*-Vergleichs wurden jeweils in einer sortierten Liste dokumentiert und mithilfe eines statistischen Maßes für den Vergleich von Rangfolgen miteinander verglichen. Da in der hier durchgeführten Evaluation große Rangunterschiede als gravierende Fehler angesehen werden und die exakte Rangfolge aufgrund des großen Werts für N weniger bedeutend ist als kleinere Unterschiede in der Rangfolge, verwenden wir den Rangkorrelationskoeffizienten *Spearmans ρ* [vgl. Me07]. Zusätzlich werden durch den Einsatz eines *Bootstrapping*-Verfahrens 95 % Konfidenzintervalle bestimmt. Dabei werden durch wiederholte Stichprobenziehung (hier: 10.000 Wiederholungen) entsprechend der Größe der ursprünglichen Stichprobe (mit Zurücklegen) zusätzliche Stichproben erzeugt [EG83]. Für den Rangkorrelationskoeffizienten nach Spearman wird die Rangfolge der Suchergebnislisten verglichen, welche sich im Fall von schlechten Bewertungen aufgrund der geringen Abstände zwischen den einzelnen *melodic similarity*-Werten von Maß zu Maß stark unterscheiden kann. Da das Ranking der schlecht bewerteten Ergebnisse für die Bestimmung der melodischen Ähnlichkeit unerheblich ist, können diese in der Evaluation vernachlässigt werden. Wir betrachten vor diesem Hintergrund für jedes der insgesamt 106 Liedblätter jeweils nur die 10 besten Resultate pro Anfrage (N = 1060). Tab. 1 zeigt die Korrelationskoeffizienten, sowie die *Bootstrap*-Konfidenzinter-valle.

				BC_a 95% CI[b]	
Methode	r_s[a]	*p*	*N*	*LL*	*UL*
ms	0.459	< .001**	1060	0.397	0.517
gar	0.533	< .001**	1060	0.476	0.585
interval	0.598	< .001**	1060	0.548	0.645
parsons	0.425	< .001**	1060	0.362	0.484

Tab. 1: Spearman-Korrelation bei den besten 10 Resultaten pro Anfrage (N=1060). *ms*: Berechnung nach [MS90]; *gar*: Berechnung nach [GAR07]; *interval*: Berechnung basierend auf Intervallen; *parsons*: Berechnung basierend auf Parsons-Code-Zeichenketten; **p < .01 (zweiseitig); [a] Rangkorrelation nach Spearman mit *2015-ShapeTime* [Ur15]; [b] *Bootstrap*-Ergebnisse beruhen auf 10.000 *Bootstrap*-Stichproben.

[9] http://www.music-ir.org/mirex/wiki/2016:Symbolic_Melodic_Similarity
[10] http://kern.ccarh.org/browse?l=essen

Die Korrelationskoeffizienten aller vier implementierten *melodic similarity*-Varianten weisen nach der Einteilung von [Co92] eine mittlere bis starke (0.5 = Schwellwert für starken Effekt) Effektstärke auf, welche mit $^{**}p < .001$ auch statistisch signifikant ist. Die Ergebnisse dieser quantitativen Evaluation zeigen, dass die umgesetzten *melodic similarity*-Maße (vgl. Kap. 5) im Vergleich mit einem aktuellen, positiv evaluierten MIREX-Algorithmus auf einem Testkorpus aus dem Bereich monophoner Volksliedmelodien gute Resultate liefern.

6.2 Qualitative Fallstudien

Ergänzend wurde ein webbasiertes Tool[11] umgesetzt, welches die *melodic similarity* zwischen zwei Liedblättern im *MusicJSON*-Format berechnet und die Melodien gleichzeitig als virtuelle Liedblätter darstellt. Auf diese Weise können stichprobenartig einzelne Liedblätter qualitativ miteinander verglichen werden und die Plausibilität der jeweils berechneten *melodic similarity* an den konkret zugrundeliegenden Melodien überprüft werden. Abb. 4 zeigt vier beispielhafte Liedblattpaare, mit variierenden Ähnlichkeitsgraden. Die Paare zeigen eine abnehmende melodische Ähnlichkeit: 4419/4420 > 4487/4499 > 4489/4503 > 4433/4503.

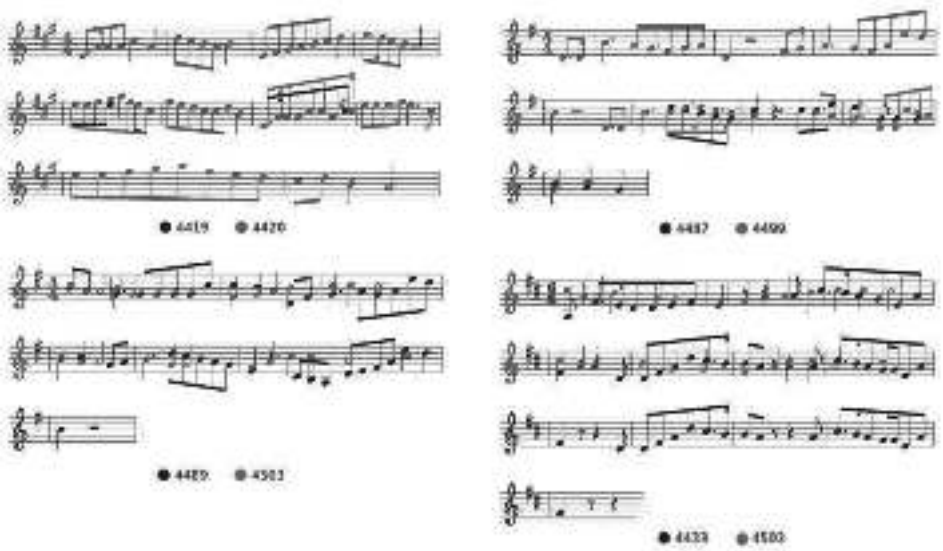


Abb. 4: Vier beispielhafte Liedblattpaare aus der *Essen Folksong Collection*. Die Referenzierung der einzelnen Blätter erfolgt über die bestehenden Liedblatt-IDs.

Ein Blick auf die entsprechenden *melodic similarity scores* (vgl. Tab. 2) für die vier umgesetzten Maße zeigt, dass sich die deutlich sichtbare, abnehmende Ähnlichkeit der hier

[11] Demo unter: http://musicjson-similarity-demo.lukaslamm.com/

aufgeführten Liedblattpaare auch in den berechneten Werten widerspiegelt. Diese qualitativen Fallstudien können als weiteres Indiz für die Qualität der umgesetzten *melodic similarity*-Komponente interpretiert werden.

Liedblattpaar	*ms*	*gar*	*interval*	*parsons*
4419/4420	.959	.919	.938	.969
4487/4499	.648	.422	.730	.811
4489/4503	.281	.006	.270	.432
4433/4503	.063	.000	.241	.379

Tab. 2: *Melodic similarity scores* für unterschiedliche Maße und Liedblattpaare.

7 Umsetzung des Informationssystems

Dieses Kapitel gibt einen kurzen Einblick in das final umgesetzte MIR-Tool[12], welches künftig für die Analyse der in Kap. 2 beschriebenen Liedblattdaten genutzt werden soll. Das MIR-Tool erlaubt die Suche nach Melodiesequenzen auf den drei Repräsentationsebenen Melodie, Intervalle und Parsons-Code, welche darüber hinaus mit Schlüsselwörtern aus den Liedtexten sowie weiteren Metainformationen kombiniert werden können. Weiterhin kann bei jeder Suchanfrage der Schwellwert der *melodic similarity*-Funktion flexibel angepasst werden. So können dann bspw. alle Lieder gefunden werden, die eine bestimmte Melodiesequenz mindestens zu 80% enthalten. Die Ergebnisse dieser Suchen werden direkt im Webbrowser dargestellt und können einerseits als Faksimiles betrachtet, andererseits als virtuelle Transkriptionen angezeigt werden, in denen die gesuchten Melodiefragmente jeweils farbig hervorgehoben sind (vgl. Abb. 5). Zusätzlich können die gefundenen Liedblätter direkt im Webbrowser als MIDI abgespielt werden.

8 Fazit

Dieser Artikel beschreibt die Entwicklung eines MIR-Tools für die *melodic similarity*-Analyse von deutschsprachigen Volksliedern. Das Tool unterscheidet sich von bestehenden MIR-Anwendungen wie *Digital Archive of Finnish Folk Song Tunes*[13], *Dutch Song Database*[14], *HymnQuest*[15], *Humdrum*[16], *Melody Catcher*[17], *Musipedia*[18], *PeachNote*[19],

[12] Live-Demo: http://masterarbeit.lukaslamm.com/; Demovideo: https://vimeo.com/187879605
[13] http://esavelmat.jyu.fi/index_en.html
[14] http://www.liederenbank.nl/searchmusic/piano.php?&lan=en#x
[15] http://hymnquest.com/
[16] http://www.musiccog.ohio-state.edu/Humdrum/
[17] http://melodycatcher.com/
[18] http://www.musipedia.org/
[19] http://www.peachnote.com/

Probado[20] oder *RISM*[21] durch die Möglichkeit Suchanfragen auf unterschiedlich abstrakten Repräsentationsebenen formulieren zu können. Ein weiteres Abgrenzungsmerkmal zum schon länger bestehenden *Themefinder*[22] [vgl. Ko98] stellt darüber hinaus die positiv evaluierte *melodic similarity*-Komponente dar, die zudem über einen regelbaren Schwellwert je nach Informationsbedürfnis flexibel angepasst werden kann.

Alle Algorithmen und *Converter*, die dem im vorherigen Kapitel beschriebenen MIR-Tool zugrunde liegen, wurden als generische Toolbox umgesetzt und stehen unter der MIT *open source*-Lizenz über *GitHub* sowie über die Paketverwaltung *NPM* der *JavaScript*-Laufzeitumgebung *Node.js* für die Nachnutzung in anderen MIR-Projekten zur freien Verfügung. Einzige Einschränkung des Anwendungskontexts ist, dass das MIR-Tool mit Fokus auf monophone Melodien konzipiert wurde und nicht ohne Weiteres auf mehrstimmige Melodiedaten übertragen werden kann.

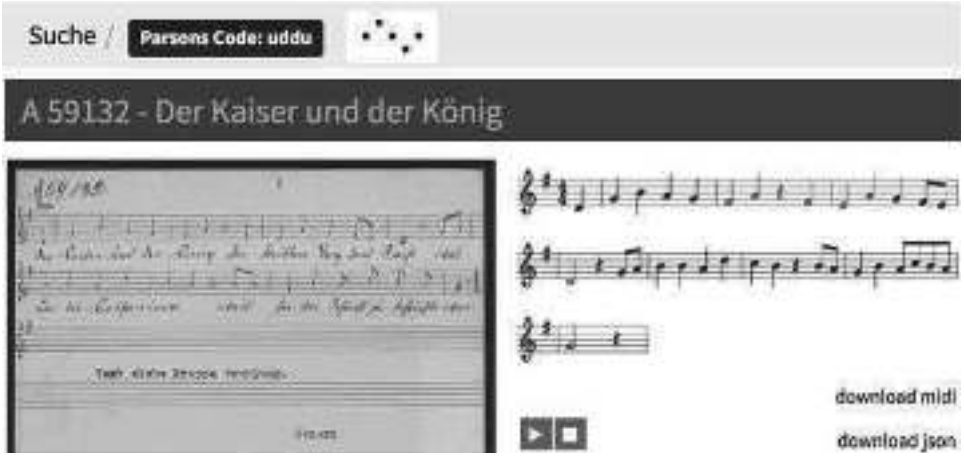


Abb. 5: Ausschnitt aus der Ergebnisdarstellung im umgesetzten MIR-Tool.

Literaturverzeichnis

[Be04] Berenzweig, A., Logan, B., Ellis, D. P. W. & Whitman, B. (2004). A Large-Scale Evaluation of Acoustic and Subjective Music-Similarity Measures. In *Computer Music Journal*, *28*, 63–76.

[BS17] Burghardt, M. & Spanner, S. (2017). Allegro: User-centered Design of a Tool for the Crowdsourced Transcription of Handwritten Music Scores. In *Proceedings of the Digital Access to Textual Cultural Heritage Conference* (*DATeCH*), S. 15-20.

[20] http://www.probado.de/
[21] https://opac.rism.info/
[22] http://www.themefinder.org/

[Bu17] Burghardt, M., Spanner, S., Schmidt, T., Fuchs, F., Buchhop, K., Nickl, M. & Wolff, C. (2017). Digitale Erschließung einer Sammlung von Volksliedern aus dem deutschsprachigen Raum. In *Book of Abstracts, DHd 2017,* S. 228-233.

[BVH16] Boot, P. , Volk, A. & de Haas, W. B. (2016). Evaluating the Role of Repeated Patterns in Folk Song Classification and Compression. In *Journal of New Music Research, 45*(3).

[CM05] Cahill, M. & Maidin, D. (2005). Melodic similarity algorithms – Using similarity ratings for development and early evaluation. In *Proceedings of the 6th International Conference on Music Information Retrieval* (*ISMIR*)*,* S. 450–453.

[Co92] Cohen, J. (1992). A Power Primer. In *Psychological Bulletin*, *112*(1), 155–159.

[Do78] Dowling, W. J. (1978). Scale and contour: Two components of a theory of memory for melodies. In *Psychological Review*, *85*(4), 341–354.

[EG83] Efron, B. & Gong, G. (1983). A Leisurely Look at the Bootstrap, the Jackknife, and Cross-Validation. In *The American Statistician*, 37(1), 36–48.

[GAM02] Grachten, M., Arcos, J. L. & de Mántaras, R. L. (2002). A comparison of different approaches to melodic similarity. In *Proceedings of the 2nd International Conference in Music and Artificial Intelligence (ICMAI)*.

[GAM04] Grachten, M., Arcos, J. L. & de Mántaras, R. L. (2004). Melodic Similarity: Looking for a Good Abstraction Level. In *Proceedings of the 5th International Conference on Music Information Retrieval* (*ISMIR*).

[GAR07] Gómez, C., Abad-Mota, S. & Ruckhaus, E. (2007). An Analysis of the Mongeau-Sankoff Algorithm for Music Information Retrieval. In *Proceedings of the 8th In-ternational Conference on Music Information Retrieval (ISMIR)*, S. 109–110.

[Hi12] Hillewaere, R., Manderick, B., Conklin, D. & Ehu, U.P.V. (2012). String methods for folk tune genre classification. In *Proceedings of the 13th International Society for Music Information Retrieval Conference*, S. 217–222.

[Ho01] Hofmann-Engl, L. (2001). Towards a cognitive model of melodic similarity. In *Proceedings of the 2nd International Conference on Music Information Retrieval (ISMIR)*, S. 143–151.

[Je91] Jesser, B. (1991). *Interaktive Melodieanalyse*. Studien zur Volksliedforschung 12. Bern: Peter Lang.

[JVV15] Janssen, B., Van Kranenburg, P. & Volk A. (2015). A Comparison of Symbolic Similarity Measures for Finding Occurrences of Melodic Segments. In *Proceedings of the 16th International Conference on Music Information Retrieval* (*ISMIR*), S. 659–665.

[Ko98] Kornstädt, A. (1998). Themefinder: A web-based melodic search tool. In *Computing in Musicology*, *11*, 231–236.

[Kr13] Krüger, G. (2013). Das „Regensburger Volksmusik-Portal“ der Universitätsbibliothek Regensburg. Bestände – Problematiken – Perspektiven. Zwischenbericht aus einem Er-

schließungsprojekt. In R. E. Mohrmann (Hrsg.), *Audioarchive – Tondokumente digitalisieren, erschließen und auswerten*, S. 119–131. Münster: Waxmann Verlag.

[Me07] Melucci, M. (2007). On rank correlation in information retrieval evaluation. In *ACM SIGIR Forum*, *41*(1), 18–33.

[MS03] Miura, T. & Shioya, I. (2003). Similarity among melodies for music information retrieval. In *Proceedings of the 12th International Conference on Information and Knowledge Management (CIKM*), S. 61-68.

[MS90] Mongeau, M. & Sankoff, D. (1990). Comparison of Musical Sequences. In *Computers and the Humanities*, *24*, 161–175.

[MF04a] Müllensiefen, D. & Frieler, K. (2004). Optimizing Measures Of Melodic Similarity For The Exploration Of A Large Folk Song Database. In *Proceedings of the 5th International Conference on Music Information Retrieval* (*ISMIR*), S. 274–280.

[MF04b] Müllensiefen, D. & Frieler, K. (2004). Melodic Similarity: Approaches and Applications. In *Proceedings of the 8th International Conference on Music Perception & Cognition*, S. 283–289.

[Pa75] Parsons, D. (1975). The Directory of Tunes. Cambridge, England: Spencer Brown and Co.

[Sa12] Savage, P.E., Merritt, E., Rzeszutek, T. & Brown, S. (2012). CantoCore: A New Cross-Cultural Song Classification Scheme. In *Analytical approaches to World Music, 2*(1), 87–137.

[TNV13] Terras, M., Nyhan, J. & Vanhoutte, E. (2013). *Defining Digital Humanities - A Reader*. Farnham (UK): Ashgate Publishing.

[TWV05] Typke, R., Wiering, F. & Veltkamp, R. C. (2005). A Survey of Music Information Retrieval Systems. In *Proceedings of the 6th International Conference on Music Information Retrieval* (*ISMIR*), S. 153-160.

[Ty07] Typke, R. (2007). Music Retrieval based on Melodic Similarity. *Ph.D Thesis, Utrecht University.*

[Ur15] Urbano, J. (2015). MelodyShape at MIREX 2015 Symbolic Melodic Similarity. In *11th Music Information Retrieval Evaluation eXchange (MIREX)*.

[VVW13] Van Kranenburg, P., Volk, A. & Wiering, F. (2013). A comparison between global and local features for computational classification of folk song melodies. In *Journal of New Music Research,42*(1), 1–18.

[WF74] Wagner, R. A. & Fischer, M. J. (1974). The String-to-String Correction Problem. In *Journal of the ACM*, *21*(1), 168–173.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 101

"Hardness" as a semantic audio descriptor for music using automatic feature extraction

Isabella Czedik-Eysenberg[1], Denis Knauf[2] and Christoph Reuter[1]

Abstract: The quality of "hardness" in music is an attribute that is most commonly associated with genres like metal or hard rock. However, other examples of music raise the question of whether there is a genre-independent general dimension of "hardness" that can be obtained from the signal automatically based on psychoacoustical features. In listening experiments 40 subjects were asked to rate 62 music excerpts according to their hardness. Using MATLAB toolboxes, a set of features covering spectral and temporal sound properties was obtained from the stimuli and investigated in terms of their correlation with the subjective ratings. By means of multiple linear regression analysis a model for musical hardness was constructed which shows a correlation of r = 0.86 with the experimental results. This proposes musical hardness as a useful high level descriptor for analysing collections of music. In ongoing experiments the fitness of this model is being further evaluated.

Keywords: Music, Semantic Audio Feature Extraction, Hardness, Heaviness, Metal, High Level Descriptor.

1 Background

Studies concerning "hard" (or "heavy") music - in most cases heavy metal - often focus on its sociological aspects or psychological role, for example investigating a connection between listening preferences and aggressive behavior amongst adolescents [We05], personality and modulation of emotions [Ge11] or its subcultural environment in general [We91] [Wa93] [Gr90]. These studies only briefly touch on the question of the actual sound properties that mark the examined music as "hard".

When reviewing articles about the production of corresponding music and other descriptive texts, a number of characteristic features can be found. Among them are strongly distorted guitars [Wa93] [Be99], a high intensity of low or high frequency ranges respectively [Re08] [BF05] [My12], high loudness in connection with a low dynamic range [We91] [Wa93], in particular a flat dynamic envelope caused by sound distortion [BF05], pronounced percussive sounds [Gr90], a distinct noise character of the vocal timbre [WBG11], ambiguous tonality with harmonic dissonances [Be99] as well as a particularly fast or slow tempo [WBG11].

Although this quality of music is often equated with the genre metal [Re08], other musical

[1] University of Vienna, Institute of Musicology, Spitalgasse 2-4, Hof 9, 1090 Vienna, Austria, isabella.czedik-eysenberg@univie.ac.at, christoph.reuter@univie.ac.at
[2] Technical University of Vienna, Software Engineering, denis@denkn.at

doi:10.18420/in2017_06

styles are also sometimes considered as "hard" like e.g. hard rock, hardcore techno, punk or "New German Hardness". This raises the question of whether there are common psychoacoustical features affecting the perception of hardness in music.

Therefore the goal is to use a computational approach in order to identify acoustic signal properties connected to this perceptive dimension. By examining sound features across different genres, a general model for musical hardness is aimed for. The concept of designing a high-level music descriptor on the basis of low-level audio features (cf. e.g. [BEL03]) offers a way of describing and extracting a semantically meaningful dimension that can be used in automatic music analysis, similarity measurement, and other musicological applications. Finally, the subjective character of the hardness ratings is investigated by determining whether and to what extent the ratings of listeners with a preference for hard music differ from those of other subjects.

2 Method

2.1 Listening test

An online listening test was conducted in which 40 subjects took part. Sixty-two music excerpts with a length of 10 seconds from a set of different genres were used as stimuli. A detailed listing of the used music pieces and their corresponding genres is provided as additional material on a webpage [CKR17]. Participants were asked to rate each of them on a seven-level scale according to their perceived hardness.

Next to basic descriptive data (age, gender) the listening habits and personal preference for hard music were queried in a general questionaire. The 40 participants were 18 to 59 years old (mean age = 31.08) and consisted of 15 female and 25 male subjects.

Finally, participants were also asked to provide a written description of the features that are relevant for the perception of musical hardness from their point of view. The test was carried out in a specifically developed web environment [Pr17] using Ruby on Rails.

2.2 Sound analysis

Sounds were analyzed in MATLAB using the TSM toolbox [DM14], the MIRtoolbox [LT07] and the Loudness Toolbox by Genesis [Ge17]. The performed signal analysis included a large set of spectral as well as temporal and other features (see [CKR17]), e.g. frequency distribution measures, dynamic envelope parameters and ranges, loudness values, timbral features like roughness and inharmonicity as well as information about percussive and harmonic signal components. All time-dependent features were aggregated by averaging over time, except were otherwise stated. These features were examined in terms of their correlation with the results of the listening test.

3 Results

3.1 Identified sound features

After summarizing synonymous categories, the descriptions given by the test participants were ranked according to their frequency of mention (see Tab. 1).

Feature	Frequency of mentions
High tempo	26
Characteristic singing style	17
Not very melodical	15
High loudness	14
Presence of percussive instruments	14
Dominant bass	13
Distortion	9
Specific guitar riffs	8
Noise-like	6
Temporal density of sound	6

Tab. 1: Characteristic features of hard music
according to written descriptions by the test participants

Based on that, a series of signal parameters, some of which are associated with the mentioned psychoacoustic features, were extracted. For a full listing of all examined features with explanations see [CKR17]. Subsequently, correlations between these descriptor values and the mean ratings of each musical stimulus were analyzed. Tab. 2 summarizes the strongest connections.

Sound feature	r	p
Percussive Energy (E_{perc})	0.81	< 0.001
Spectral Flux (Median) (SF)	0.80	< 0.001
Roughness (R)	0.75	< 0.001
Number of Onsets (NoO)	0.68	< 0.001
High Frequency Ratio (HFR)	0.59	< 0.001
Loudness (Sone) (L)	0.54	< 0.001
Low Centroid Rate (LCR)	-0.52	< 0.001
2-4 kHz Energy ($E_{2\text{-}4kHz}$)	0.51	< 0.001
Envelope Flatness (EF)	0.50	< 0.001
Low Frequency Ratio (LFR)	0.48	< 0.001
Inharmonicity (I)	0.25	0.0484

Tab. 2: Correlation between hardness ratings and acoustic signal properties,
sorted by the level of correlation. (For a full listing of features see [CKR17])

A feature that proves to be particularly promising in this context is the percussive energy, which describes the intensity of the percussive components of the signal. For extracting

this parameter the procedure for harmonic-percussive separation as implemented in the TSM toolbox [DM14] using median filtering according to Fitzgerald [Fi10] was applied to the audio signal as a first step. This approach relies on the observation that percussive components tend to manifest as vertical structures in a spectrogram [DM15, Fi10, On08]. After separation, the RMS energy of the obtained percussive signal part was calculated. The resulting value is highly correlated with the perceived hardness of the musical stimuli. This is in line with descriptions that mention intense percussion sounds as a central element of hard music (e.g. [Re08] or "pounding percussion" in [Gr90]). These quickly changing percussive components in the spectrogram also reflect in a strong correlation with the spectral flux.

Additionally, for hard music, high as well as low frequency bands appear to be more pronounced compared with the medium frequency range (see high frequency ratio and low frequency ratio in Tab. 2). In order to obtain the high frequency ratio and low frequency ratio, the signal parts below 100 Hz and above 1000 Hz respectively were extracted using low/high pass filters and compared with the 250 to 400 Hz band in respect to their RMS energy. This correlation is in accordance with the results of Berger and Fales, who showed that the perception of hardness in guitar timbres increases with their content of high frequency energy [BF05]. Of note is the correlation with the spectral energy in the area between 2 and 4 kHz, as this frequency band has been shown to be associated with the perception of unpleasant sounds (like e.g. scraping on a blackboard) due to outer ear resonances [ROM14].

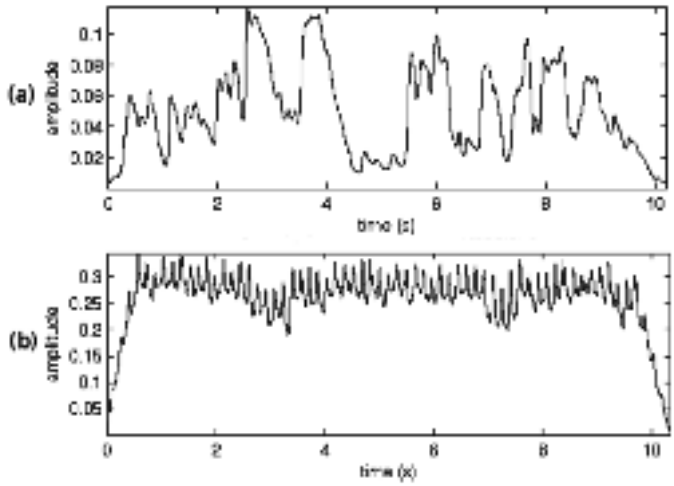


Fig. 1: Dynamic envelope of the (a) example that was rated least hard ("Cat Stevens - Sad Lisa") and the (b) example rated the hardest ("Marduk - Slay the Nazarene")

Among the most frequently mentioned features by participants of the listening test were "high tempo" as well as "temporal density of sound". The significance of these attributes manifests in a correlation with the number of onsets. Onsets were detected based on the

temporal envelope using the MIRtoolbox [LT07]. Then, the number of onsets in relation to the length of the music excerpt was determined. The denser the onsets, the higher hardness ratings could be observed.

Another relevant feature is the loudness (Sone). Here it was measured according to the ANSI 2007 norm by Moore et al. [MGB97] as implemented in the Loudness Toolbox by Genesis [Ge17]. This confirms reports of high loudness in hard music (e.g. [Wa93] and [We91]).

As seen in the comparison between the music excerpts with the lowest and highest hardness rating respectively (Fig. 1), not only a higher fundamental amplitude can be observed for hard music, but also a generally flatter dynamic envelope (as previously described in [BF05]) characterized by dense peaks and relatively small amplitude drops. This constant (percussive) event density and the accompanying more uniform signal properties also manifest in correlations with the number of onsets, the envelope flatness and the low centroid rate (the percentage of frames showing a less than average spectral centroid value).

3.2 Construction of High Level Descriptor

Considering intercorrelations between the extracted descriptors (see Tab. 3), a combination of percussive energy (Eperc), the intensity of the signal components between 2 and 4 kHz (E2-4kHz) and the low centroid rate (LCR) was chosen as an effective set for describing the overall hardness (Fig. 2). For choosing these three parameters, a sequential feature selection approach was applied: Starting by adding the feature showing the highest correlation with the ratings, all other features were tested for partial correlations given the already added controlling variable. The feature with the strongest partial correlation was then added to the set. This process was performed iteratively until no significant (partial) correlation could be found any more.

Feature	E_{perc}	SF	R	NoO	HFR	L	LCR	$E_{2\text{-}4kHz}$	EF	LFR	I
E_{perc}	1	0.98	0.92	0.73	0.55	0.62	-0.47	0.37	0.43	0.49	0.30
SF	0.98	1	0.90	0.74	0.53	0.64	-0.50	0.34	0.41	0.55	0.25
R	0.92	0.90	1	0.63	0.69	0.52	-0.33	0.51	0.39	0.40	0.21
NoO	0.73	0.74	0.63	1	0.34	0.55	-0.39	0.34	0.58	0.23	0.11
HFR	0.55	0.53	0.69	0.34	1	0.32	-0.25	0.77	0.28	0.38	0.08
L	0.62	0.64	0.52	0.55	0.32	1	-0.36	0.45	0.42	0.22	0.23
LCR	-0.47	-0.50	-0.33	-0.39	-0.25	-0.36	1	-0.18	-0.31	-0.50	-0.26
$E_{2\text{-}4kHz}$	0.37	0.34	0.51	0.34	0.77	0.45	-0.18	1	0.45	-0.05	0.16
EF	0.43	0.41	0.39	0.58	0.28	0.42	-0.31	0.45	1	-0.01	0.31
LFR	0.49	0.55	0.40	0.23	0.38	0.22	-0.50	-0.05	-0.01	1	0.04
I	0.30	0.25	0.21	0.11	0.08	0.23	-0.26	0.16	0.31	0.04	1

Tab. 3: Intercorrelations between descriptors in Tab. 2

By means of multiple linear regression analysis a model (1) was constructed from those three features.

$$\text{Hardness} \approx 2.67 + 33.8 * E_{perc} + 6.37 * E_{2\text{-}4kHz} - 4.65\ LCR \quad (1)$$

An automatically extractable high level descriptor based on this regression model shows a strong correlation ($r = 0.86$, $p < 0.01$, R^2 adjusted = 0.723) with the subjective hardness ratings (see Fig. 3).

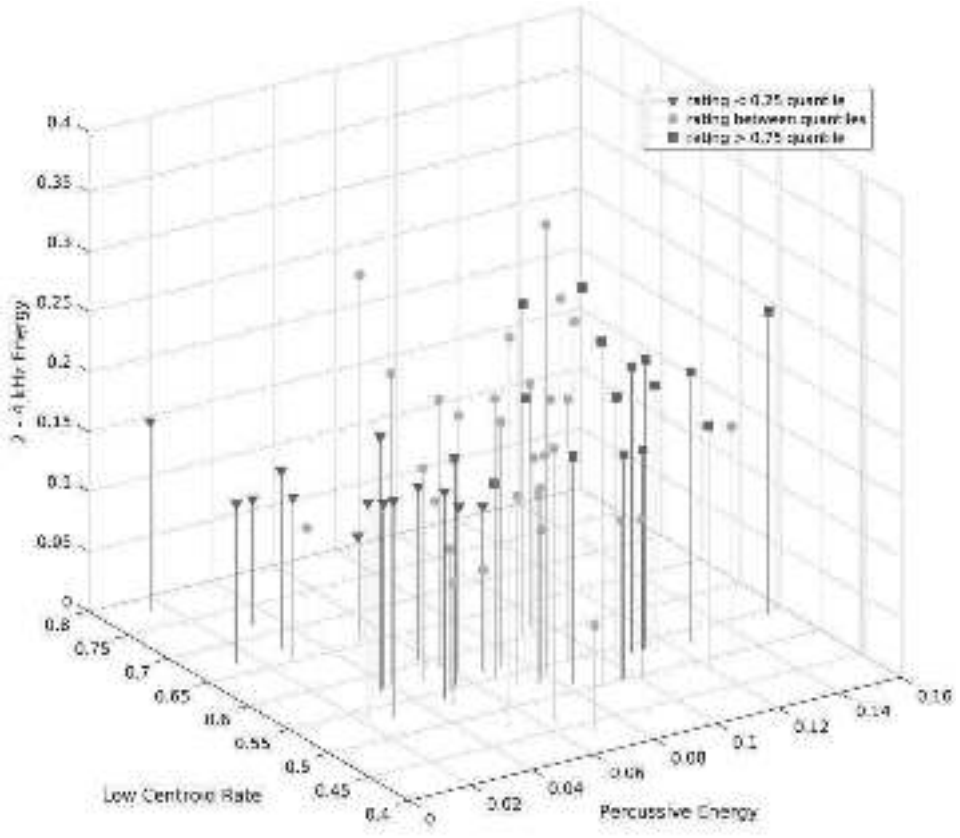


Fig. 2: The features percussive energy, low centroid rate and 2-4 kHz energy combined show a strong connection to the hardness ratings of the test subjects

In a different approach, when considering not only automatically extracted features, but also the singing style (which was manually classified into the categories "singing", "speaking/rap", "screaming", "growling", "combination" and "none") an even slightly higher correlation with the hardness ratings could be obtained ($r = 0.88$, $p < 0.01$, R^2 adjusted = 0.759).

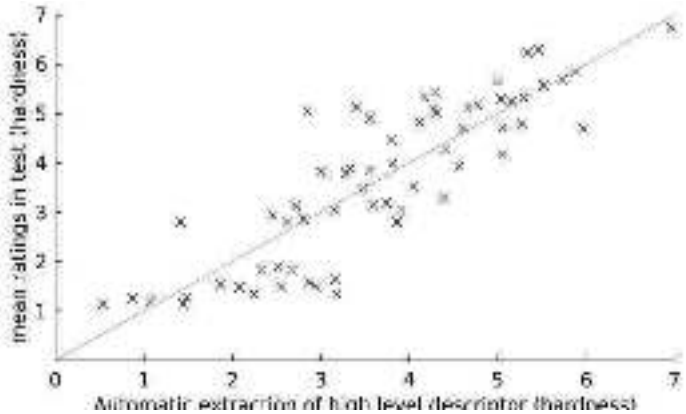


Fig. 3: Correlation between resulting hardness model and listening test ratings ($r = 0.86$, $p < 0.01$)

3.3 Musical genres

Hardness ratings varied with the style of the studied music excerpts with examples from the genres Black/Death Metal, Techno/Hardcore, Metal in general and New German Hardness receiving the highest average ratings (see Fig. 4).

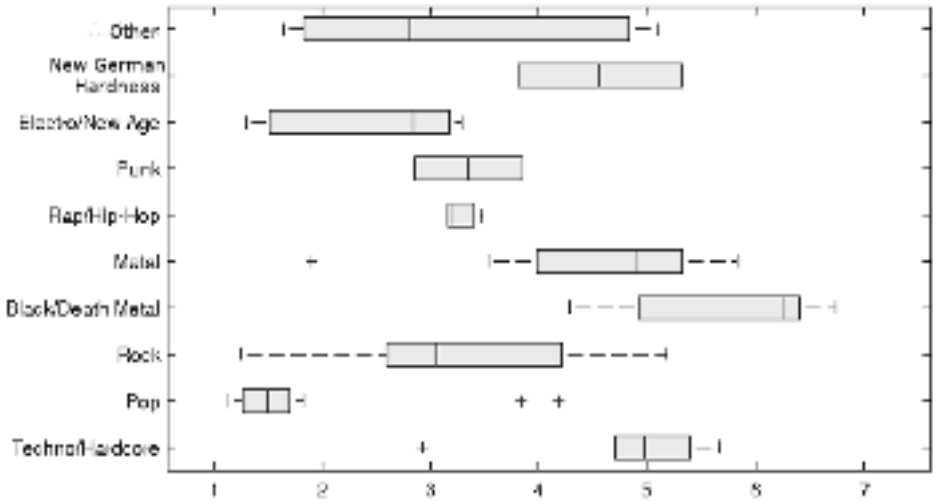


Fig. 4: Hardness ratings by musical genre

While the relevant psychoacoustic features were largely congruent across most genres, for Techno/Hardcore the flatness of the dynamic envelope alone showed a much stronger correlation ($r = 0.9$, $p < 0.01$) with the hardness ratings than in the case of other genres. A possible explanation could be dynamic compression used in the production of electronic

music. However, as only eight examples from the genre Techno/Hardcore were being examined, it cannot be ruled out that this effect might be caused by outliers. A possible connection should be further investigated using a larger sample from this genre.

3.4 Influence of subjective preferences

Test participants with a positive preference for hard music were significantly more often male ($p < 0.05$ according to Fisher's exact test) and younger than those with negative preference ($p < 0.01$ according to two-sample t-test). Overall, those listeners of hard music gave significantly lower average hardness ratings than those with an aversion did ($p < 0.05$ according to t-test).

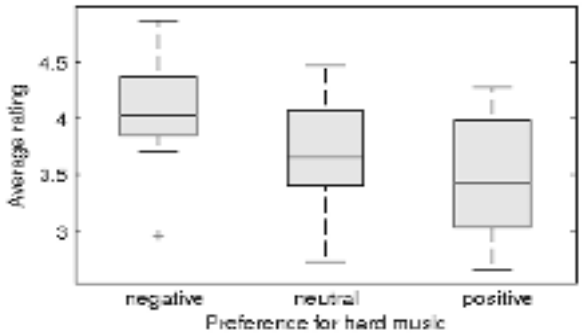


Fig. 5: Average hardness ratings by preference

Remarkably, participants with a negative preference for hard music gave significantly higher ratings for examples from the genre Techno/Hardcore than listeners of hard music did ($p < 0.01$ according to t-test), while a similar effect could not be found for example for Black/Death Metal ($p = 0.14$).

4 Discussion and outlook

Here the concept of musical hardness was examined using an audio feature extraction approach. This presents an example of how unbiased analysis by computational methods can be applied to gain insight and confirm knowledge in the study of musicological questions. Among these attributes were the presence of percussive instruments, that manifests in a high intensity of the corresponding signal components (as measured by percussive energy and spectral flux). Moreover, a flat temporal envelope in connection with a high temporal density (envelope flatness, number of onsets) and a generally high loudness with an emphasis on low as well as high frequency areas (loudness, low / high frequency ratio, 2-4 kHz energy) could be observed to correlate with hardness in music.

While manually classified attributes like e.g. the singing style can improve the

performance of the model, future advances in music information retrieval will presumptively enable further approximation even when relying only on automatically extracted features. However, next to individual differences in the perception of hardness (see chapter 3.1), it has to be considered, that many aspects like compositional characteristics (e.g. specific heavy metal riffs), textual content of the lyrics and musical metadata are not taken into account with this approach and will - at least partially - remain as a semantic gap in the full explanation of the concept of musical hardness.

Nevertheless, it was possible to construct a general high level descriptor for musical hardness based only on automatically extractable signal features which shows a strong correlation ($r = 0.86$, $p < 0.01$) with the subjective hardness ratings. In an ongoing study, the resulting hardness model is being further evaluated in terms of its predictive power and particularly its interrelation with musical genres. Overall, the results already propose musical hardness as a useful high level descriptor in the context of analyzing and searching music collections, music recommendation systems and similar tasks.

Acknowledgements

Thank you to Jason Bosch, Daniel Back, Angelika Czedik-Eysenberg, Saleh Siddiq and Jörg Mühlhans for providing valuable suggestions and feedback on the manuscript.

Bibliography

[Be99] Berger, H.: Metal, Rock and Jazz: Perception and the Phenomenology of Musical Experience. Hanover, N.H.: Wesleyan University Press/University Press of New England, 1999.

[BEL03] Berenzweig, A., Ellis, D. P., & Lawrence, S.: Anchor space for classification and similarity measurement of music. In: Proc. Int. Conf. On Multimedia and Expo (ICME'03), Baltimore, Vol. 1, pp. I-29, 2003.

[BF05] Berger, H. & Fales, C.: Heaviness in the Perception of Heavy Metal Guitar Timbres: The Match of Perceptual and Acoustic Features over Time. Wired for Sound: Engineering and Technologies in Sonic Cultures. Middletown, CT: Wesleyan University Press, 2005.

[CKR17] Czedik-Eysenberg, I., Knauf, D., Reuter, C.: Hardness as a semantic audio descriptor - supplementary material. http://homepage.univie.ac.at/isabella.czedik-eysenberg/hardness/, accessed: 23/6/2017.

[DM14] Driedger, J. & Müller, M.: TSM Toolbox: MATLAB Implementations of Time-Scale Modification Algorithms. In: Int. Conf. on Digital Audio Effects, September 2014, pp. 249-256, 2014.

[DM15] Driedger, J., & Müller, M.: Harmonisch-Perkussiv-Rest Zerlegung von Musiksignalen. In: Proc. Deutsche Jahrestagung für Akustik (DAGA), pp. 1421-1424, 2015.

[Fi10] Fitzgerald, D.: Harmonic/percussive separation using median filtering. In: Proc. Int. Conf. on Digital Audio Effects (DAFX), Graz, Austria, pp. 246-253, 2010.

[Ge11] Georgi, R. von, Kraus, H., Cimbal, K., \& Schütz, M.: Persönlichkeit und Emotionsmodulation mittels Musik bei Heavy-Metal Fans. In (Auhagen, W., Bullerjahn C., Höge, H., ed.): Musikpsychologie. Jahrbuch der Deutschen Gesellschaft für Musikpsychologie, Bd. 21, pp. 90-118, 2011.

[Ge17] Genesis Loudness Toolbox, http://genesis-acoustics.com/en/loudness_online-32.html, accessed: 25/4/2017.

[Gr90] Gross, R. L.: Heavy metal music: A new subculture in American society. The Journal of Popular Culture, 24(1) pp. 119-130, 1990.

[LT07] Lartillot, O. & Toiviainen, P.: A Matlab toolbox for musical feature extraction from audio. In: Int. Conf. on Digital Audio Effects, September 2007, pp. 237-244, 2007.

[MGB97] Moore, B. C., Glasberg, B. R., & Baer, T.: A model for the prediction of thresholds, loudness, and partial loudness. Journal of the Audio Engineering Society, 45(4), pp. 224-240, 1997.

[My12] Mynett, M.: Achieving intelligibility whilst maintaining heaviness when producing contemporary metal music. Journal on the Art of Record Production 6, 2012.

[On08] Ono, N., Miyamoto, K., Kameoka, H. & Sagayama, S. A real-time equalizer of harmonic and percussive components in music signals. In: Proc. of the Int. Society for Music Information Retrieval Conference (ISMIR), Philadelphia, Pennsylvania, USA, pp. 139–144, 2008.

[Pr17] Protrabant Online-Versuchsumgebung, https://denkn.at/protrabant, accessed: 25/04/2017.

[Re08] Reyes, I.: Sound, Technology, and interpretation in Subcultures of Heavy Music Production. Dissertation - Pittsburgh University, 2008.

[ROM14] Reuter, C., Oehler, M. & Mühlhans, J.: Physiological and acoustical correlates of unpleasant sounds, In: Proc. Joint Conference ICMPC13-APSCOM5, August 4-8, 2014, Yonsei University, Seoul, Korea, pp. 97, 2014.

[Wa93] Walser, R.: Running with the devil: Power, gender, and madness in heavy metal music. Wesleyan University Press, 1993.

[WBG11] Wallach, J., Berger, H. M. & Greene, P. D.: Metal rules the globe: heavy metal music around the world. Duke University Press, pp. 180ff, 2011.

[We05] Weindl, D.: Musik & Aggression. Untersucht anhand des Musikgenres Heavy Metal. Peter Lang, Frankfurt am Main, 2005.

[We91] Weinstein, D.: Heavy Metal: A Cultural Sociology. New York, N.Y.: Maxwell Macmillan International, 1991.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 111

Onbeat oder offbeat? Überlegungen zur symbolischen Darstellung von Musik am Beispiel der metrischen Quantisierung

Klaus Frieler[1] und Martin Pfleiderer[2]

Abstract: Musik als psychologisches und kulturelles Phänomen stellt besondere Anforderungen sowohl an ihre symbolische Repräsentation als auch an ihre Analyse. Ausgehend von generellen Überlegungen zu Musik und Musikanalyse möchte der Beitrag am Beispiel der metrischen Quantisierung für die Problematik der symbolischen Musikrepräsentation sensibilisieren. Metrische Quantisierung ist nötig, denn musikalische Ereignisse werden in der Regel innerhalb eines zyklisch-metrischen Rahmens wahrgenommen und zu Zwecken der Analyse oder Reproduktion in diesem Raster dargestellt. Mitunter sind jedoch gerade jene rhythmischen Eigenheiten von Interesse, die tendenziell durch ein Quantisierungsraster fallen wie z. B. Mikrotiming oder Synkopierungen (Offbeat-Akzente), die für Groove- und Swing-Phänomene relevant sind. Angesichts dieser Problematik wird ein Quantisierungsalgorithmus (FlexQ) vorgestellt, der im Rahmen des Jazzomat Research Project entwickelt wurde. Sein Potenzial wird anhand von zwei Forschungsbeispielen (Synkopen/Offbeats und Swing-Ratio-Messungen) verdeutlicht.

Keywords: Musik, Musikanalyse, Computational Musicology, symbolische Musikrepräsentation, Quantisierung, Rhythmus, Metrum, Mikrotiming, Swing-Ratio, Groove, Jazz

1 Einleitung

In unserem Beitrag möchten wir Probleme bei der Darstellung und Analyse rhythmischer Informationen und deren metrische Quantisierung diskutieren sowie einen im Rahmen des Jazzomat Research Project gewählten Lösungsansatz vorstellen. Das Jazzomat Research Project widmet sich der computergestützten Analyse von Jazzimprovisationen auf der Grundlage eines großen Korpus von transkribierten Jazzsoli aus den 1920er bis 2000er Jahren. Im Rahmen des von der DFG von 2012 bis 2017 geförderten Forschungsprojektes wurde die Weimar Jazz Database (WJD) mit einem eigenen Datenformat und 456 qualitativ hochwertigen Transkriptionen sowie die Analysesoftware MeloSpySuite/GUI zur Extraktion von musikalischen Merkmalen und zur Patternsuche entwickelt; Datenbank und Software sind frei verfügbar und sollen anderen Forschern Perspektiven für eigene computergestützte Untersuchungen eröffnen.

[1] Hochschule für Musik Franz Liszt Weimar, Institut für Musikwissenschaft Weimar-Jena, Hochschulzentrum am Horn, Carl-Alexander-Platz 1, 99425 Weimar / Max-Planck-Institut für empirische Ästhetik, Frankfurt/M., kf@omniversum.de
[2] Hochschule für Musik Franz Liszt Weimar, Institut für Musikwissenschaft Weimar-Jena, Hochschulzentrum am Horn, Carl-Alexander-Platz 1, 99425 Weimar, martin.pfleiderer@hfm-weimar.de

doi:10.18420/in2017_07

Mit unseren Überlegungen wollen wir exemplarisch in Besonderheiten des Forschungsfelds der computergestützten Musikanalyse einführen. Diese unterscheidet sich von einer auf digitalen Noteneditionen fokussierten Digital Musicology und einer vorwiegend auf der Audioebene arbeitenden Music Information Retrieval dadurch, dass sie Musik mit Hilfe computerlesbarer, vorwiegend symbolischer Musikformate und entsprechender Analysesoftware Musik untersucht. In unserem Beitrag möchten wir einige Erfordernisse und Besonderheiten von symbolischen Musikdatenformaten diskutieren, die nicht nur im Rahmen des Jazzomat Research Project, sondern generell für die computergestützte Musikforschung relevant sind. Beginnen möchten wir jedoch mit einigen generellen Überlegungen zu Musik und deren Analyse.

2 Computergestützte Musikanalyse

2.1 Was ist Musik?

Diese Frage mag überraschen, denn wir alle sind mit Musik vertraut, sind von Musik umgeben und genießen sie sowohl im Alltag als auch in außertäglichen Situationen wie Konzerten oder Festivals. Die vielleicht einfachste Antwort lautet: Musik ist das, was von Menschen als Musik wahrgenommen und so bezeichnet wird. Musik ist also zunächst ein psychologisches und soziales Phänomen, sie wird praktiziert, erlebt und in sozialen Diskursen verhandelt. Doch wie lässt sich der ontologische und epistemologische Status von Musik genauer fassen?

Der Musikphilosoph Daniel Feige hat vorgeschlagen, drei Seinsweisen von Musik zu unterscheiden: Erstens Musik als im Notentext fixiertes Werk, zweitens Musik als Aufführung oder Live-Darbietung und drittens Musik als Klangdokument [Fe17]. Natürlich hängen diese Seinsweisen eng miteinander zusammen: Musikwerke werden im Konzert aufgeführt und auf Tonträgern veröffentlicht. Umgekehrt beziehen sich Live-Darbietungen oftmals auf bereits existierende Musikwerke oder, wie im Pop und Rock, auf Tonträger, die sie in der performativen Situation interpretieren, also erweitern und verändern. Ungeachtet dieser Übergänge und Wechselbezüge, unterscheiden sich Musikwerke, Live-Darbietungen und Musikaufnahmen in ihrer Seinsweise jedoch grundlegend voneinander.

Während es für die Analyse von Musikwerken als Notentexten innerhalb der Musikwissenschaft und Musiktheorie eine lange Tradition und zahlreiche methodologische Ansätze gibt, sind Methoden für die Analyse von Tonträgern erst im 20. Jahrhundert entstanden, zunächst innerhalb der Musikethnologie, später dann in der Jazz- und Popmusikforschung. Am schwierigsten – aber womöglich auch am spannendsten – ist wohl die Analyse von Aufführungen, da in performativen Situationen weitere Aspekte wichtig sind: Die Interaktion der Musiker mit ihren Körpern und Instrumenten, mit ihren Mitmusikern, mit dem Raum und seiner Akustik sowie mit dem Publikum eröffnet zahlreiche situative Rückkopplungsmöglichkeiten, die vom Musiker spontane Reaktionsweisen

fordern und so zur Einmaligkeit und Ereignishaftigkeit von Musik und ihrem Erleben beitragen. Neben kleineren Gestaltungsfreiheiten wie der Wahl der Dynamik, des Tempos oder mikrorhythmischer Feinheiten, die auch bei der Interpretation klassischer Musik gegeben sind, bieten viele Musikrichtungen den Musikern zudem eine besondere Möglichkeit, Musik im Augenblick zu erschaffen: zu improvisieren. Dies geschieht natürlich nicht voraussetzungslos, sondern auf der Grundlage von zumeist langwierigen Lernprozessen und oftmals in Bezug auf Aufführungstraditionen, wie sie etwa im Jazz sowohl mündlich innerhalb der Musiker-Community und in Institutionen wie der Jam Session als auch medial durch Tondokumente und schließlich im Unterricht vermittelt werden. Die komplexen performativen Qualitäten und Gestaltungsspielräume gilt es im Hinterkopf zu behalten, wenn aus forschungspragmatischen Gründen von Musikdarbietungen nur Aufnahmen oder deren Transkriptionen Gegenstand der Analyse sind.

2.2 Musikalische Analyse

Analysiert man einen Gegenstand, so zergliedert man ihn, um anschließend seine Komponenten zu beschreiben und so mehr über seine inneren Zusammenhänge, seine Funktionsweise und seine besonderen Qualitäten zu erfahren. In den Musikwissenschaften steht dahinter oftmals die Annahme, dass durch ein vertieftes Verständnis von Musik auch deren ästhetische Erfahrung erweitert und bereichert werden kann. Darüber hinaus verfolgt die Musikanalyse den Zweck, die individuelle ästhetische Musikerfahrung explizit zu machen, um sie anderen Menschen vermitteln zu können.

In ihren Anfängen im 19. Jahrhundert folgte die Musikanalyse zunächst der Absicht, mit wissenschaftlichen Methoden den ästhetischen Wert von bestimmten Musikwerken sowie durch analytische Vergleiche verschiedener Epochen- oder Personalstile eine musikalische Stilgeschichte zu begründen. . Oftmals geht die Stilanalyse Hand in Hand mit einer Rekonstruktion und Deutung der historisch und kulturell verankerten Gebrauchsweisen und Bedeutungen, die mit der jeweiligen Musik verbunden waren oder sind. Darüber hinaus kann Musikanalyse einer Beschreibung und Erklärung sowohl der musikalischen Wahrnehmung als auch der Herstellung von Musik durch Komposition, Aufführung (Performance) und Improvisation dienen, was nicht zuletzt Auswirkungen auf deren didaktische Vermittlung hat.

Mag es zum Zwecke einer ästhetischen Beurteilung des Wertes einzelner Musikwerke noch genügen, diese Werke isoliert zu analysieren, so ist es für stilgeschichtliche und vergleichende Untersuchungen wünschenswert, auf einer möglichst großen Datengrundlage zu arbeiten. Dies ist bei den herkömmlichen Analyseverfahren jedoch sehr mühselig und zeitaufwändig. Methoden der computergestützten Musikanalyse ermöglichen nun eine automatisierbare Analyse größerer Musikkorpora – so etwa seit den 1990er Jahren mit dem *Humdrum Toolkit* von David Huron und Mitarbeitern [Hu99] oder seit 2006 mit *music21* von Michael Cuthbert und Christopher Ariza [Cu10]. Der Musikhistoriker Nicholas Cook sah bereits im Jahr 2004 in diesen Entwicklungen "[…] a significant opportunity for disciplinary renewal: […] there is potential for musicology to be pursued

as a more data-rich discipline than has generally been the case up to now, and this in turn entails a re-evaluation of the comparative method." [Co04, S. 103] Cook erläutert seine Einschätzung anhand des Humdrum Toolkits und entsprechender Studien.

In der Tat sind seither zahlreiche computergestützte Korpusstudien durchgeführt und veröffentlicht worden, die im Gegensatz zum „close reading" einzelner Werke dem Ansatz eines „distant reading" größerer Korpora im Sinne des Literaturwissenschaftlers Franco Moretti [Mo09, Mo16] folgen.[3] Diese Erneuerungspotenziale beziehen sich unseres Erachtens nicht nur auf eine Verbreiterung der Datengrundlage, sondern auch auf die Analyseterminologie. Musikforscher sind nämlich gezwungen, Begriffe etwa aus dem Bereich des Rhythmus (z. B. Synkope, Offbeat, Takt und Metrum) oder der Tonhöhengestaltung (Diatonik, Modalität etc.) so eindeutig und präzise zu definieren, dass sie von Musikinformatikern für Algorithmen operationalisiert werden können. Neben diesen terminologischen Fragen liegen Herausforderungen in den Besonderheiten von Musikdaten, in denen musikalische Gegebenheiten, die etwa mit dem zyklischen Aufbau von Metren oder den zyklischen Oktavwiederholungen in Tonsystemen zusammenhängen, angemessen zu repräsentieren sind.

2.3 Besonderheiten symbolischer Musikdaten

Obwohl es in den verschiedenen Kodierungsformen gewisse immer wiederkehrende Konzepte gibt, besteht bislang kein Konsens darüber, wie Musik optimal repräsentiert werden soll,. Im Gegensatz zur normierten Darstellung von Texten durch vordefinierte Alphabete wurden verschiedene symbolische Musikformate entwickelt, die jeweils einige Aspekte in den Vordergrund stellen, andere dagegen vernachlässigen.

Audioformate (z.B. WAV, AIFF, MP3) erlauben es, Schallwellen zu repräsentieren. Sie bieten jedoch keine direkte Möglichkeit, musikalische Konzepte wie Melodie, Harmonie oder Rhythmus darzustellen. Noten dagegen kodieren explizit viele strukturelle Merkmale (Tonhöhen, Rhythmus, Metrum), und erlauben so Musikern, unter Rückgriff auf gelernte expressive Aufführungskompetenzen, ein Musikstück darzubieten. Sie enthalten jedoch in der Regel nur marginale Angaben zu expressiven Aspekten wie Dynamik, Klangfarbe und Mikrorhythmik. Das MIDI-Format ist zwar expressiver als ein Notentext, da es erlaubt, aufführungswichtige Momente wie Mikrotiming und Lautstärke darzustellen, hat aber nur eingeschränkte Möglichkeiten, abstraktere musikanalytische Aspekte, wie etwa Harmonien, Phrasenbau, Form usw. adäquat darzustellen.

Welches symbolische Musikrepräsentationssystem in welcher Situation zum Einsatz kommt, hängt stark von den dabei verfolgten Intentionen ab. MusicXML wurde primär zu Darstellung von Noten entwickelt, MIDI zu Echtzeitsteuerung von elektronischen Musikinstrumenten. Man kann symbolische Musikrepräsentationssysteme auch in deskriptive und präskriptive Formate unterteilen. Deskriptive Formate dienen der beschrei-

[3] Vgl. etwa die entsprechenden Themenhefte der Zeitschrift *Music Perception*, 31/1 (2013) und 31/3 (2014).

benden Darstellung von Musik und daher vorwiegend analytischen Zwecken, während präskriptive Formate primär zur (Re-)Produktion von Musik gedacht sind. Allerdings sind präskriptive Notationsweisen in der Regel bereits ausdrucksstark genug, um auch zur Beschreibung bestimmter musikalischer Dimensionen wie der Melodik oder Harmonik dienen zu können. Der amerikanische Musikwissenschaftler Charles Seeger, der die Unterscheidung zwischen präskriptiver und deskriptiver Notation 1958 vorgeschlagen hat [See58], favorisiert zum Zwecke der musikalischen Analyse eine Kombination verschiedener grafischer Repräsentationsweisen, etwa der herkömmlichen Notenschrift und einer Art Pianorollennotation sowie Spektraldarstellungen und Intensitätskurven. Nur durch diese Kombination könne es, so Seeger, gelingen, möglichst viele der musikalischen Dimensionen, die für die musikalische Analyse von Interesse sind oder sein können, adäquat zu notieren. Seeger erkannte zugleich, dass Audio-Formate (wie die damaligen Schallplattenrillen) zwar einen maximalen Informationsgehalt besitzen, jedoch nicht direkt für die Analyse geeignet sind.

Computergestützte Musikanalyse ist primär an deskriptiven Musikrepräsentationssystemen in digitaler Form interessiert. Die entscheidende Frage lautet dabei, welche musikalischen Dimensionen auf welche Weise computerlesbar dargestellt und gespeichert werden. Da man nicht vorhersehen kann, welche musikanalytischen Fragestellungen sich in Zukunft ergeben werden, ist bei der Konzeption von Datenformaten prinzipiell ein maximaler Informationsgehalt anzustreben. Das würde dafür sprechen, von audiobasierten Repräsentationen auszugehen, und weite Teile des Music Information Retrievals folgen tatsächlich diesem Ansatz. Audiodaten besitzen zwar einen maximalen Informationsgehalt, sind aber, wie schon Charles Seeger erkannte, analytisch sehr schwach, da man jede Merkmalsdimension, z. B. Tempo, Metrum, Tonhöhe, Melodie, Harmonie, Instrumentation, Form etc., erst aus der Audiodatei extrahieren muss. Diese Aufgabe ist jedoch für die meisten musikalischen Dimensionen bislang nicht mit hinreichender Präzision gelöst. Zwar kann man für ausgewählte analytische Fragestellungen mit den heute vorhandenen Algorithmen zu sinnvollen Antworten kommen, allerdings nur mit Hilfe von statistischen Verfahren und großen Datensätzen. Wenn man etwa die Tempoverteilung in elektronischer Tanzmusik untersuchen möchte (vgl. [Moe02]), kann man mit einem State-of-the-Art-Tempo-Extraktionsverfahren und einem hinreichend großen Korpus zu durchaus validen Ergebnissen kommen. Für andere Fragestellungen, etwa zur mikrorhythmischen Gestaltung im Jazz (vgl. Abschnitt 3.3), ist dies aber nur eingeschränkt möglich, denn dazu bräuchte man nicht nur eine sehr gute Grundschlagsermittlung (Beattracking) im Jazz (wofür bislang kein tauglicher Algorithmus entwickelt wurde), sondern auch eine möglichst fehlerfreie und zeitlich exakte Extraktion des Spiels der Solisten aus einer polyphonen Jazzaufnahme.

Womöglich ist es nur eine Frage der Zeit, bis MIR-Algorithmen gut genug sind, um die genannten Exktraktionsaufgaben mit hinreichender Präzision zu lösen. Dennoch bleibt dann die Frage offen, wie der Output dieser Algorithmen repräsentiert werden soll. Bislang wird sowohl das konkrete Ausgabeformat (Text/CSV, XML, JSON etc.) als auch das ihm zugrunde liegende Datenmodell mehr oder minder *ad hoc* von den Entwicklern

der Algorithmen definiert. Die seit einigen Jahren stattfindenden MIREX-Wettbewerbe[4] wie auch die Entwicklung von Musikontologien [Ra12] habe hier zwar zu einer Standardisierung zumindest für bestimmte Aufgaben beigetragen. Dennoch ist kein allgemein verbindlicher Standard in Sicht. Wichtiger als das konkrete Format ist allerdings die Frage nach einer adäquaten Darstellung der grundlegenden Dimensionen von Musik – adäquat sowohl hinsichtlich des Wahrnehmens und Erlebens von Musik als auch der musikalischen Intentionen von Musikern und Komponisten.

Wir wollen diese Überlegungen an einem Aspekt genauer erläutern, der zunächst simpel erscheint und auch Laien intuitiv zugänglich ist, aber doch viele interessante Fragen und Probleme aufwirft: der metrischen Quantisierung des musikalischen Rhythmus.

3 Metrum, Quantisierung, Synkopen, Swing-Ratio

3.1 Metrum und Quantisierung

Musik ist in der Regel metrisch gebunden. Metrum hat zwei Komponenten, zum einen den Beat oder Grundschlag, zum anderen den Takt. Die meisten Menschen sind in der Lage, den Grundschlag (soweit vorhanden) in der Musik wahrzunehmen und mental so fortzuschreiben, dass sie sich zur Musik durch Mitklopfen, Mitwippen oder Tanzen synchronisieren können. Der Grundschlag kann als eine Folge von Zeitpunkten, mit (mehr oder minder) konstanten Abstand (dem Inter-Beat-Intervall) verstanden werden. Das Tempo eines Musikstücks ergibt sich aus dem Kehrwert des zeitlichen Abstandes zwischen zwei Grundschlägen und wird in Beats per Minute (bpm) gemessen. 120 bpm bedeuten also zwei Grundschläge pro Sekunde (2 Hz), was einem Inter-Beat-Intervall von 500 ms entspricht.

Der Takt kann als eine Gruppierung von Grundschlägen verstanden werden, die zu einer Einheit zusammengefasst werden. Oft sind weder Grundschlag noch Takt explizit in der Musik vorhanden, sondern werden vielmehr beim Hörer (und bei den Musikern) aufgrund statistischer Regelmäßigkeiten im Schallsignal (bottom up) sowie schematisierter Erwartungen (top down) induziert [Fr82]. Wahrnehmungspsychologische Untersuchungen haben gezeigt, dass Menschen einen einmal induzierten Grundschlag und Takt auch dann weiterführen, wenn die entsprechenden Klangereignisse für eine Zeit lang aussetzen [Re05, Se00]. Das in vielen Musikgenres am weitesten verbreitete Metrum ist der 4/4-Takt, d. h. vier Beats stellen eine Takteinheit dar. Zwischen den Schlägen eines 4/4-Taktes gibt es in der Regel ein phänomenologisches Ungleichgewicht, so werden die erste und die dritte Zählzeit als „wichtiger“ oder „betonter“ wahrgenommen (Akzentstufentakt). Durch die Gruppierung von Grundschlägen zu noch größeren Einheiten entsteht zudem eine Art metrische Hierarchie. Eine (regelmäßige) Gruppierung von Takten in größere Einheiten (z. B. zwei, vier oder acht Takte) wird als Hypermetrum bezeichnet

[4] http://www.music-ir.org/mirex/wiki/MIREX_HOME

und ist in der westlichen Musik weit verbreitet. Die metrische Hierarchie wird in der Regel durch die Teilung der Inter-Beat-Intervalle in Subbeat-Divisionen auch nach unten ausgedehnt werden. So kann ein Inter-Beat-Intervall in gleiche Hälften, aber auch in drei Teile (Triolen) oder in ungleiche Hälften wie im Jazz (Swing-Achtel, vgl. 3.5) geteilt werden. Diese Untereinheiten können zudem weiter unterteilt werden. Wie baut sich nun aber ganz konkret die Hierarchie unterhalb der Grundschlagebene auf, wenn es unendlich viele, unendliche feine Möglichkeiten der Unterteilung gibt?

Das Problem der Subbeat-Division zeigt sich ganz praktisch bei der Quantisierung. Der Begriff „Quantisierung" bezeichnet in der MIDI-Technik den Vorgang, ein von Menschen eingespieltes Musikstück, rhythmisch zu „begradigen", d. h. in ein metrisches Gitter einzufügen. Bekanntlich zeichnen sich Menschen in der Regel durch ein schwankendes Timing aus, das oft mit vom Sequenzer gesteuerten Schlagzeugpatterns oder Keyboard-Arpeggien schlecht harmoniert oder einfach als „untight" (unpräzise) empfunden wird. Deswegen gibt es Optionen, manuell eingespielte MIDI-Tracks zu quantisieren, d. h. die Einsatzzeitpunkte algorithmisch auf ein vorgegebenes Raster ideeller Zeitpunkte zu verschieben, z. B. auf ein 16tel-Raster, wie es viele frühe Drumcomputer benutzen. Der verwendete Algorithmus ist recht einfach. Bei gegebener Gitterkonstante, also einer bestimmten Unterteilung des Beats, kann man für jedes Ereignis arithmetisch den nächstliegenden Gitterpunkt bestimmen. Die Wahl der Gitterkonstante wird dabei in der Regel dem Nutzer überlassen. Da ein zu feines Gitter keinen hörbaren Quantisierungseffekt hat und ein zu grobes Raster manchmal zu „unmusikalischen" oder zu falschen Resultaten führt, gibt es allerdings bestimmte Heuristiken. Will man etwa sowohl 32tel-Noten als auch 16tel-Triolen darstellen, was für Popmusik hinreichend genau ist, so braucht man mindestens 24 Subbeat-Divisionen, da acht 32tel- und sechs 16tel-Triolen in eine Viertelnote passen, und das kleinste gemeinsame Vielfache davon kgV(8, 6) = 24 ist. Bei einem zu groben Raster können zeitlich separate Ereignisse unter Umständen auf demselben Gitterpunkt landen, mit der Folge, dass eine monophone Melodie mehrstimmig wird. Wer schon einmal eine manuell eingespielte MIDI-Datei in einem der gängigen Notensatzprogramme geöffnet hat, wird dieses Problem kennen. Zwar sind feinere Raster grundsätzlich realitätsnäher als grobe, allerdings benötigt man zumindest für Notendarstellungen eine definierte kleinste Unterteilung des Beats. Auch für die Transkriptionen von Jazzsoli ist daher eine Quantisierung erforderlich. Anders als bei der MIDI-Quantisierung impliziert der im Jazzomat Research Project gewählte Weg jedoch keine reale Verschiebung der Einsatzzeitpunkte, sondern ist eine metrische Annotation, d. h. eine Zuordnung von Tonereignissen zu metrischen Gitterpunkten. Aufgrund der oben genannten Mängel der einfachen Gitterquantisierung wurde dafür ein neuer Algorithmus entworfen.

3.2 Flexible Quantisierung (FlexQ)

Die Transkriptionen der Weimar Jazz Database bestehen aus Sonic-Visualiser-Projektdateien, die als zentrales Element einen Noten-Layer sowie verschiedenen Annotationslayer enthalten, vor allem einen manuell geklopften Grundschlag mit Angaben

zum Metrum (Taktart, Lage der Taktanfänge) und daran gekoppelten Annotationen der Formteile und Akkorde. Die Aufgabe des Algorithmus besteht nun darin, den Tonereignissen mit Hilfe des Grundschlags und der Taktangaben eine vollständige metrische Annotation zuzuordnen. Die Grundschlagannotation liefert dabei zusammen mit den Taktangaben Taktnummern und Beatpositionen, sodass nur noch die Subbeat-Positionen zu bestimmen sind.

Angesichts der geschilderten Problematik einer zu starren Gitterquantisierung wurde ein einfacher Gedanke zum Ausgangspunkt genommen, der auch in der herkömmlichen westlichen Notenschrift benutzt wird: Finde für jeden Beat anhand der gerade erklingenden Musik auf lokaler Ebene eine optimale Unterteilung. Damit ergibt sich ein Optimierungsproblem, das durch eine Rastersuche über mögliche Unterteilungen zu lösen ist, wobei als Randbedingung zusätzlich die strikte Einstimmigkeit einzuhalten ist, also einem bestimmten Gitterpunkt maximal ein Ton zugeordnet werden darf. Dazu wurden vier heuristische Bedingungen aufgestellt, die es gleichzeitig zu erfüllen gilt.

1. Die lokalen Subbeat-Gitter sollen möglichst einfach sein, d. h. die Unterteilung soll eine möglichst kleine Zahl sein („keine Unterteilung“ ist dabei als Sonderfall erlaubt).
2. Der mittlere Abstand der realen Einsatzzeitpunkte von den quantisierten Gitterpunkten soll möglichst gering ist.
3. Abgesehen von 2er- und 3er-Teilung sind Primzahlunterteilungen in der Musik eher selten anzutreffen. Unterteilungen in 5, 7, 11, 13 etc. Gitterpunkte sind somit tendenziell zu vermeiden.
4. Die Quantisierungsverschiebungen sollen möglichst gleichmäßig sein, was man als möglichst geringe Standardabweichung der Verschiebungen operationalisieren kann. Der Hintergrund dieser Regel ist, dass man manchmal zwar einen niedrigen Quantisierungsfehler durch wenige sehr große und wenige sehr kleine Verschiebungen erreicht, man aber annehmen kann, dass ein Spieler eher gleichmäßig verteilte Abweichungen von idealen Unterteilungen produziert und nicht einige Töne präzise und andere sehr unpräzise spielt.

Der FlexQ-Algorithmus iteriert über Paare aufeinander folgender Grundschläge, wobei für die Menge aller Einsatzpunkte aller Tonereignisse innerhalb dieses Grundschlagpaares die optimale Unterteilung gesucht wird. Dabei werden alle Gitterunterteilungen bis zu einer gewissen Obergrenze getestet. Die Obergrenze der Unterteilung ergibt sich aus der maximalen Geschwindigkeit menschlicher Bewegungsabläufe bzw. der wahrnehmbaren Ereignistrennschärfe, die beide in der Größenordnung von ca. 20–30 ms liegen. Die gefundene minimale Unterteilung wird dann zur metrischen Annotation genutzt. Die auf diese Weise generierten Ergebnisse sind durchaus zufriedenstellend und sowohl für detaillierte Analysen als auch für Notendarstellungen geeignet.

3.3 Beispiel 1: Jazzomat vs. externe Transkription

In der Weimar Jazz Database ist ein kurzes Solo von Charlie Parker über das Stück „Ornithology“ (1946, Dial 1002) enthalten. Eine Transkription davon findet sich u. a. im sogenannten „Omnibook“ [Pa87], einer Sammlung der Transkriptionen von 56 Soli Charlie Parkers, die vor allem für praktizierende Jazzmusiker gedacht sind. In Abb. 1A findet sich die Notendarstellung der Takte 5-7 des Solos aus dem Omnibook, in Abb. 1B die entsprechende Stelle aus der Weimar Jazz Database (WJD), die mit dem FlexQ-Algorithmus quantisiert wurde, in Abb.1C ein Screenshot der entsprechenden Passage in der Sonic-Visualiser-Projektdatei. Wie man sieht, weichen die Notendarstellungen der beiden Transkriptionen deutlich voneinander ab. Die Tonhöhen stimmen im Wesentlichen überein, es finden sich aber drei Unterschiede (in Takt 6 auf der 1+ und 4, in Takt 7 auf der 2+). Der Vergleich mit der Aufnahme zeigt, dass die Töne in der WJD richtig sind.

Was die metrische Annotation angeht, gibt es bei insgesamt 20 Tönen nur sechs Übereinstimmungen zwischen Omnibook- und WJD-Version. Die Übereinstimmungen sind alle auf vollen Zählzeiten (Onbeat) zu finden, die Abweichungen finden sich alle in der Subbeat-Ebene (Offbeats). Geht man davon aus, dass die Grundschläge und Töne hinreichend korrekt annotiert sind, was der Ohrenschein bestätigt, so ist die metrische Annotation der WJD Version in der Tat präziser. Das kann man gut am zweiten Ton illustrieren (c‘), der deutlich nach der zweiten Zählzeit erklingt und deswegen auf der zweiten 16tel im zweiten Beat zu liegen kommt. Die folgenden drei Töne sind bezogen auf den Beat alle etwas zu spät, die sich anschließenden zwei Töne erklingen dann etwas früher, sodass auf der ersten Zählzeit in Takt 6 beide Transkriptionen wieder übereinstimmen.

Auf der ersten und der dritten Zählzeit des Taktes 6 sowie auf der dritten Zählzeit von Takt 7 finden sich zudem typische Beispiele für den Einfluss von Konventionen auf die (präskriptive) Notation. Während in der Omnibook-Version gerade (binäre) Achtel notiert sind, annotiert FlexQ triolische Swing-Achtelnoten (lang-kurz). In der Tat ist es bei Jazztranskriptionen verbreitet, Swing-Achtel nicht triolisch, sondern binär zu schreiben, um die Notation zu vereinfachen, wobei impliziert wird, dass die Achteln triolisch (lang-kurz) gespielt werden. Auch FlexQ folgt dieser Konvention, wenn die Swing-Ratio, also das Verhältnis der längeren ersten zur kürzeren zweiten Achtel, näher an 1:1 als an 2:1 liegt (vgl. Abschnitt 3.4). Obwohl die metrische Annotation der WJD-Version in diesem Fall exakter als die präskriptiv gedachte Transkription des Omnibooks ist, so kann man doch behaupten, dass in gewisser Hinsicht die Rhythmik der Omnibook-Transkription besser ist, denn sie ist nicht nur einfacher (und damit leichter lesbar und zum Nachspielen besser geeignet), sondern entspricht wahrscheinlich eher sowohl der Intention Parkers als auch dem, wie Hörer diese Stelle wahrnehmen.



Abb. 1. Verschiedene Darstellungen der Takte 5-7 aus Charlie Parkers Solo über „Ornithology“ (1946): A. Notendarstellung auf Basis der Transkription aus dem Omnibook (eigene Reproduktion). B. Notendarstellung mit dem FlexQ-Algorithmus auf Basis der Weimar Jazz Database. C. Screenshot der Sonic-Visualiser-Projektdatei; die horizontalen Balken sind die annotierten Notenereignisse, die vertikalen Striche die manuell annotierten Zählzeiten.

3.4 Beispiel 2: Synkopen und metrische Komplexität

Unter einer Synkope verstehen wir ein Klangereignis auf einer Subbeat-Ebene, dem kein Ereignis auf der nächsthöheren Ebene folgt [Pf06]. In der Regel handelt es sich bei der nächsthöheren Ebene um die Ebene des Grundschlags, sodass der Ton vor dem (fehlenden) Grundschlag oder „Onbeat“ auch als „Offbeat“ bezeichnet wird. Die zweite Achtelnote auf der zweiten Zählzeit in Takt 5 in der Omnibook-Version (s. Abb. 1A) ist demnach keine Synkope, da ihr ein Onbeat-Ereignis auf der dritten Zählzeit (der nächsthöheren metrischen Ebene) folgt. In der WJD-Darstellung findet sich dieser Ton aber auf der vierten 16tel des Beats und das nächste Ereignis erklingt auf der zweiten 16tel der dritten Zählzeit, damit handelt sich um eine Synkope. Da der zweite Ton ebenfalls eine Synkope ist, hat man hier insgesamt eine Kette von vier 16tel-Synkopen. In der Tat findet sich in der Omnibook-Version im ganzen Ausschnitt nur eine einzige Synkope (auf dem letzten Ton), wohingegen in der WJD-Version insgesamt acht Synkopen zu finden sind – ein erheblicher Unterschied.

Generell ist Synkopizität ein wichtiges Phänomen in Jazz und populärer Musik. Synkopizität arbeitet gewissermaßen einem etablierten Metrum entgegen, da Zeitpunkte betont werden, die nicht mit denen der zentralen metrischen Ebene des Grundschlags übereinstimmen. Nehmen sie nicht überhand und etablieren ein alternatives Metrum, dann trägt der geschickte Einsatz von Synkopen in der Regel zum Bewegungscharakter der Musik und mitunter zu deren „Groove“-Charakter entscheidend bei. Daher ist es durchaus von Interesse, den Anteil von Synkopen in Jazzsoli zu bestimmen. Zugleich ist der Anteil an Synkopen ein Maß für die metrische Komplexität einer Melodie.

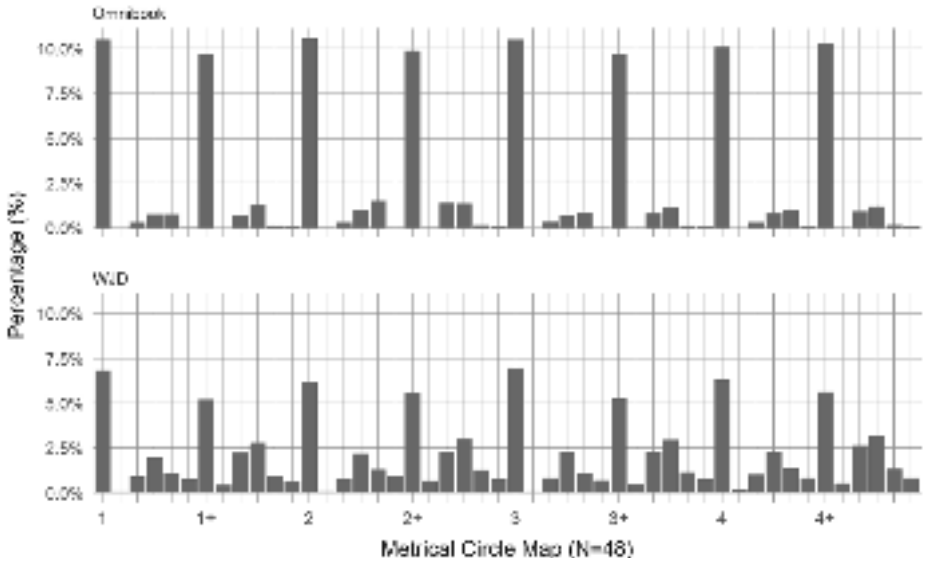


Abb. 2. Verteilung der MCM48 (Frieler, 2007) für das Omnibook-Korpus (N=56) und das Charlie-Parker-Subkorpus (N=17) der WJD. In beiden Korpora sieht man eine recht gleichmäßige Verteilung der Achtelpositionen im 4/4-Takt (alle Soli sind 4/4).

Die metrische Annotation in der WJD erlaubt es, für jeden Ton recht einfach zu entscheiden, ob er eine Synkope ist oder nicht. Der Anteil der Synkopen (*syncopicity*) innerhalb eines Stückes oder eines Musikrepertoires ist ein mögliches Maße für dessen metrische Komplexität. Auf der Basis der FlexQ-Quantisierung kann man weitere einfache Indikatoren für metrische Komplexität definieren. Einem der Indikatoren liegt die Überlegung zu Grunde, dass eine möglichst gleichmäßige Unterteilung von Inter-Beat-Intervallen einfacher ist als ständig wechselnde die Grundschlagunterteilungen. Das kann als mittlere Anzahl von Unterteilungsänderungen (*metric division complexity*) gemessen werden. Ein weiterer Indikator für metrische Komplexität beruht auf der Idee, dass vollbesetzte lokale Subbeat-Gitter einfacher sind als solche mit Lücken. So ist die 16tel-Notenkette |xxxx|xxxx|xxxx|xxxx| im 4/4-Takt einfacher, da redundanter als ein komplexer Rhythmus wie etwa |xoox|ooxo|oxoo|xoox| oder auch |xoxx|xoxx|xoxx|xoxx|. Wenn man den Anteil unbesetzter Gitterpunkte berechnet, erhält man die sog. *metric compression complexity*. Ein viertes Maß für metrische Komplexität kann über die metrische Kreisabbildung (Metrical Circle Map, MCM, Frieler 2007) definiert werden. Dabei wird jeder Takt in N gleiche Teile unterteilt. In Abb. 2 findet man die MCM (mit N=48) für das Omnibook-Korpus und das Charlie-Parker-Subkorpus der WJD. Man sieht dort sehr gut, wie die flexible Quantisierung in der WJD zu einer flacheren Verteilung führt. Die (Sample-)Entropie der MCM-Verteilung lässt sich ebenfalls als Komplexitätsmaß auffassen.

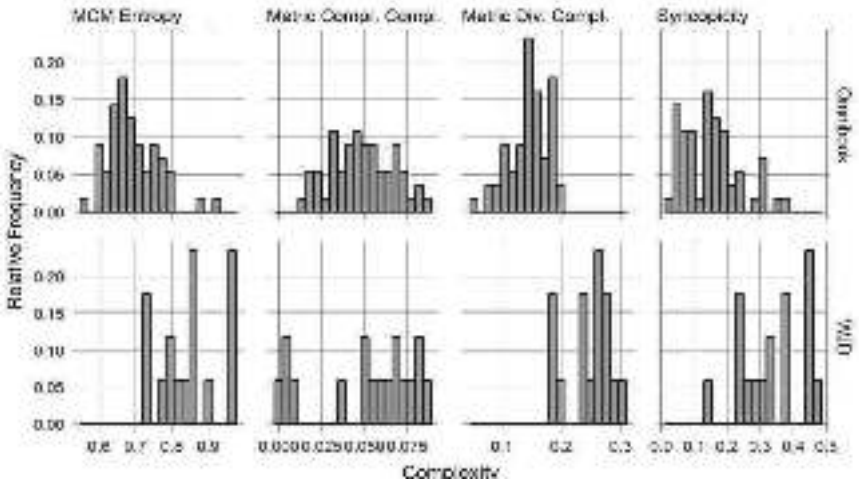


Abb. 3. Vier metrische Komplexitätsmaße für das Omnibook-Korpus (N=46) und das Charlie-Parker-Subkorpus (N=17) der WJD. Für eine Erklärung der Maße s. Text.

In Abb. 3 findet man die Verteilung der vier genannten metrischen Komplexitätsmaße für das Omnibook-Korpus und das Charlie-Parker-Subkorpus der WJD. Die Werte für das Omnibook sind generell niedriger, einzige Ausnahme bildet die *metric compression complexity*, da diese nicht so sehr von der Unterteilung der Beats abhängt. Der Mittelwert der Synkopizität liegt für das Omnibook bei 15%, und für die Parker-Soli der WJD bei 34%, ist also mehr als doppelt so hoch.

3.5 Beispiel 3: Swing Ratio.

Als ein Spezifikum des Jazz gilt das Phänomen des „swing“, das oftmals mit dem fließenden Bewegungscharakter und der Häufigkeit und Platzierung von Synkopen, vor allem jedoch mit den Swing-Achteln (lang-kurz) in Zusammenhang gebracht wird. Das Verhältnis von langer zu kurzer Achtelnote nennt man die Swing-Ratio. Verschiedene Messungen haben gezeigt, dass es bei verschiedenen Spielern und bei verschiedenen Tempi eine relativ große Bandbreite der Swing-Ratio gibt [Pf16, S. 262-271]. Anders als in herkömmlichen Transkriptionen ermöglichen es die Zeitinformationen in der WJD, die Swing-Ratios genau zu messen und damit differenziert zu analysieren. Dazu müssen zunächst alle Achtelketten identifiziert werden, die aufgrund des FlexQ-Algorithmus auch als Triolen oder mit noch kleineren Notenwerten annotiert sein können. Dieser Umstand wird bei der Berechnung der Swing-Ratios mit Hilfe der Analysesoftware MeloSpyGUI berücksichtigt. In Abb. 4 finden sich Boxplots der Swing-Ratio-Verteilung in den Charlie-Parker-Soli der WJD: Man sieht eine recht hohe Streuung der Werte innerhalb der einzelnen Soli wie auch über alle Soli hinweg. Der Median der Swing-Ratio über alle Soli liegt bei 1.53 : 1 bzw. ca. 3 : 2, also gerade in der Mitte zwischen binären (1 : 1) und triolischen (2 : 1) Swing-Achteln.

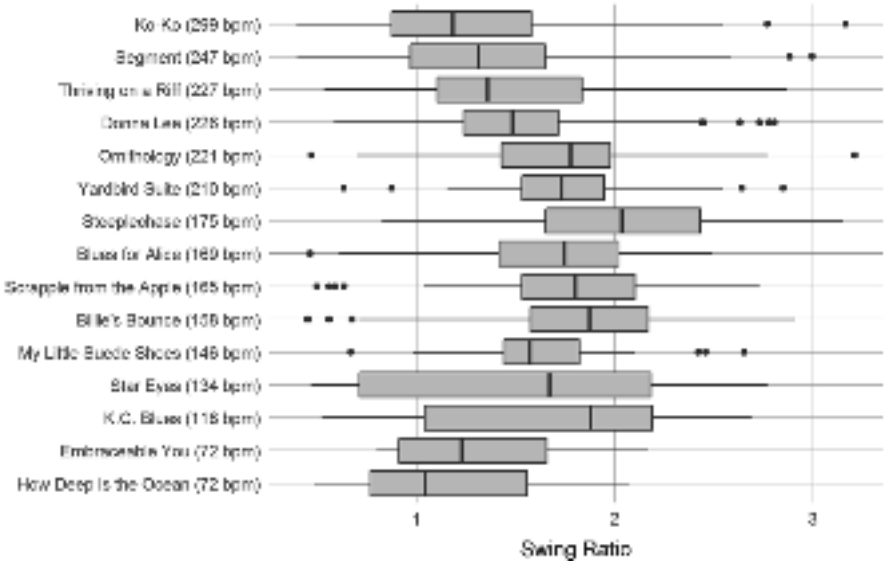


Abb. 4. Boxplots der Swing-Ratios der Charlie-Parker-Soli in der WJD. Die Soli sind nach Tempo (in Klammern hinter dem Titel) absteigend angeordnet. Zwei Balladen hatten nur jeweils einen Wert und wurden weggelassen.

4 Fazit und Ausblick

Eine zentrale Herausforderung der computergestützten Musikanalyse ist es, adäquate Repräsentationsformen, Datenformate und Datenkonzepte für Musik zu entwickeln, die einen hohen Informationsgehalt besitzen und zugleich hinreichend flexibel sind, um die Grundlage für die Untersuchung verschiedener analytischer Fragestellungen zu bilden. Dies betrifft ebenso die automatisierten Audio-Extraktions- und Transkriptionsverfahren des Music Information Retrieval. Die herkömmliche Notenschrift ist hier nur ein erster Anlaufpunkt, der wohl für viele strukturelle Aspekte der Musik – und insbesondere für Musikwerke der europäischen Tradition – bereits ausreichend ist. Allerdings lassen sich viele expressive und performative Aspekte der Musik, wie z. B. Swing und Groove, aber auch Vibrato, Tonhöhengleiten, Dynamik, Klanggebung usw., mit herkömmlichen Darstellungsformen kaum oder gar nicht adäquat erfassen.

Musik ist ein mehrdimensionales Phänomen. Aufgrund ihrer verschiedenen Dimensionen sind beim Erleben von Musik je nach Aufmerksamkeitsfokus mehrere (aber nicht beliebige) Wahrnehmungsweisen möglich. So kann sich beispielsweise das Interesse und die Aufmerksamkeit der Hörer auf strukturelle Aspekte der rhythmisch-metrischen Gestaltung oder aber auf den Bewegungscharakter, der durch Synkopen oder mikrorhythmische Details erzeugt wird, richten – oder auf beides zugleich. Die Mehrdimensionali-

tät von Musik hat auch Auswirkungen auf die Güte der symbolischen Repräsentationsformen, die sich nicht an einer einzig gültigen Ground Truth ausrichten lässt, sondern vielmehr von Kriterien wie Reichhaltigkeit, Informationsgehalt und Flexibilität abhängt. Konkret: Dass sich der mit FlexQ quantisierte Notentext bisweilen schlechter lesen und nachspielen lässt, ist kein Argument gegen die Validität dieser Quantisierungsform. Vielmehr spricht für die Güte des Algorithmus, dass sich auf der Grundlage der von ihm generierten Repräsentationsformen mehrere unterschiedliche analytische Fragestellungen sinnvoll untersuchen lassen – was für die Omnibook-Transkriptionen nur bedingt zutrifft, da sie weder eine angemessene Bestimmung der Synkopizität und metrische Komplexität von Charlie-Parker-Soli zulassen noch Informationen über deren mikrorhythmische Gestaltung bieten. Ziel ist somit die Entwicklung eines flexiblen mehrschichtigen Repräsentationssystems, das möglichst viele expressiv-performative und syntaktisch-strukturelle Dimensionen der Musik erfasst und einer Analyse zugänglich macht. Neben der hier thematisierten rhythmisch-metrischen Dimension gibt es weitere musikalische Dimensionen, bei denen die Entwicklung computerlesbarer Repräsentationsformen noch in der Kinderschuhen steckt, so etwa die klangliche Gestaltung oder die interaktiven Aspekte einer musikalischen Darbietung. So stellen etwa Beobachtungen zur rhythmisch-metrischen Gestaltung von R&B-Grooves das herkömmliche Konzept des Grundschlags als einer Folge von Zeit*punkten* in Frage; vielmehr gibt es gute Argumente dafür, die einzelnen Grundschläge als „bins“ mit einer gewissen zeitlichen Ausdehnung zu konzipieren [Da10].

Eines der Ziele von Musikanalyse ist die Erweiterung des Verständnisses von Musik – und zwar aller Dimensionen, die für das ästhetische Erleben von Musik relevant sind. Dies schließt auch Erfahrungen mit ein, die in der herkömmlichen, auf europäische Musikwerke ausgerichteten musiktheoretischen Terminologie bislang stark vernachlässigt wurden, wie etwa der spezifische Bewegungscharakter im Jazz und anderen populären Musikstilen, die mit Begriffen wie „fließend“, „drive“ oder „swing“ nur sehr vage beschrieben werden. Dies hat durchaus Konsequenzen für die Vermittlung von Musik – man denke nur an die pädagogische Vermittlung einer swingenden Spielweise, die lange als Spielen von triolischen Achtelketten (Swing-Ratio 2 : 1) gelehrt wurde, obschon die Bandbreite der Swing-Ratios, wie sie von Jazzmusikern tatsächlich gespielt wird, viel größer ist und vermutlich von mehreren Faktoren abhängt [Bu02].

Durch eine engere Zusammenarbeit zwischen Musikforschern und Musikinformatikern sollten einerseits Algorithmen an bestimmte Forschungsfragen und die Eigenheiten der untersuchten Musik angepasst werden, andererseits jedoch umfassende Repräsentationssysteme von Musik entwickelt werden, die eine computergestützte Analyse möglichst vieler Aspekte und Dimensionen von Musik erlauben. Voraussetzung für diese Kooperation ist es, dass sich Musikinformatiker mit Konzepten und Begriffen der Musikforschung auseinandersetzen. Um eine gemeinsame Sprache zu finden, müssen sich jedoch zugleich die Musikforscher mit Konzepten und Begriffen der Informatik und Statistik, der musikalischen Akustik und digitalen Signalverarbeitung vertraut machen.

Literaturverzeichnis

[Bu02] Busse, W. G.: Toward Objective Measurement and Evaluation of Jazz Piano Performance Via MIDI-Based Groove Quantize Templates. Music Perception, 19, S. 443-461, 2002.

[Co04] Cook, N.: Computational and Comparative Musicology. In (Clarke, E.; Cook, N. Hrsg.) Empirical Musicology. Aims, Methods, Prospects, Oxford, S. 103–126, 2004.

[Cu10] Cuthbert, M.S., Ariza, C.: music21: A Toolkit for Computer-Aided Musicology and Symbolic Music Data, in: Proceedings of the International Symposium on Music Information Retrieval 11 (ISMIR11), S. 637–642, 2010.

[Da10] Danielsen, A.: Here, There and Everywhere: Three Accounts of Pulse in D'Angelo's 'Left and Right'. In (Danielsen, A. Hrsg): Musical Rhythm in the Age of Digital Reproduction, Farnham, S. 19-35, 2010.

[Fe17] Feige, D.: Zur Ontologie der Popmusik. In: Musik & Ästhetik, Bd. 21, S. 40-54, 2017.

[Fr82] Fraisse, P.: Rhythm and Tempo, In (Deutsch, D. Hrsg.): The Psychology of Music. Academic Press, New York, S. 149–180, 1982.

[Hu99] Huron, D.: The Humdrum Toolkit: Software for Music Research, 1999.

[Mo02] Moelants, D.: Preferred tempo reconsidered. In (Stevens, C., Burnham, D., McPherson, G.E., Schubert, E., Renwick, J. Hrsg.): Proceedings of the 7th International Conference for Music Perception and Cognition. Presented, Sidney, S. 580–583, 2002.

[Mo09] Moretti, F.: Kurven, Karten, Stammbäume. Abstrakte Modelle für die Literaturgeschichte. Suhrkamp, Frankfurt 2009.

[Mo16] Moretti, F.: Distant Reading. Konstanz University Press, Konstanz 2016.

[Pa87] Parker, C.: Charlie Parker Omnibook: For C Instruments (Treble Clef). Atlantic Music, Hollywood, 1987.

[Pf06] Pfleiderer, M.: Rhythmus. Psychologische, theoretische und stilanalytische Aspekte populärer Musik. Transcript, Bielefeld, 2006.

[Ra12] Raimond, Y., Sandler, M.: Evaluation of the Music Ontology Framework. In: Proceedings of the 9th International Conference on The Semantic Web: Research and Applications, ESWC'12. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, S. 255–269. 2012.

[Re05] Repp, B.: Sensorimotor synchronization: A review of the tapping literature. Psychonomic Bulletin & Review 12, 969–992, 2005.

[Se00] Semjen, A., Schulze, H.H., Vorberg, D.: Timing precision in continuation and synchronization tapping. Psychol Res 63, 137–147, 2000.

[Se58] Seeger, C.: Prescriptive and descriptive music writing. The Musical Quaterly, 44, 2, S. 184-195, 1958

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 127

Automatic Guitar String Detection by String-Inverse Frequency Estimation

Tobias Geib[1], Maximilian Schmitt[2] and Björn Schuller[3]

Abstract: In this work, we present a novel approach to approximating the fretboard position, i. e., the string and fret combination of guitar and bass recordings, using a feature we call String-Inverse Frequencies (SIFs). These frequencies are obtained from the opposite part of the string pressed down on a fretboard. We then show how they are calculated and proof their usefulness for guitar string detection. Additionally, a database is featured with recordings specifically tailored for this task. Furthermore, we demonstrate a basic approach using SIFs based on FFT spectral analysis and compare it to a basic standard classification process using Mel-Frequency Cepstral Coefficients and Support Vector Machines. The SIF-based approach showed a detection rate of up to $F_1 = 72\,\%$ for both guitar and bass. Finally, we discuss further possibilities regarding SIFs.

Keywords: Guitar String Detection; Music Information Retrieval; Frequency Estimation

1 Introduction

Stringed instruments, such as guitar or bass, experience a range of potential notes which may *overlap* for different strings. As a consequence, it is possible for the string, on which a note is being played, to differ, even if the same frequency is perceived. Each possibility is a combination of the fret and the string, which can also be represented by the frequency of the empty string. In standard music notation, only the pitch and the length of a note are notated. On guitar for instance, a performer would then need to interpret which string was intended by the composer to be played. Consequently, music notation systems dedicated to stringed instruments have been established, such as *tablature*, as described by Wade [Wa10]. In tablature, each line represents a string and the numbers on top of the line represent the fret number at which the string is supposed to be played, thereby removing any ambiguity. As such, tablature is a helpful tool for music education especially considering beginning players.

[1] Chair of Complex and Intelligent Systems, University of Passau, Innstraße 43, 94032 Passau, Germany
tobiasl.geib@gmail.com
[2] Chair of Complex and Intelligent Systems, University of Passau, Innstraße 43, 94032 Passau, Germany
maximilian.schmitt@uni-passau.de
[3] Chair of Complex and Intelligent Systems, University of Passau, Innstraße 43, 94032 Passau, Germany;
Department of Computing, Imperial College London, 180 Queens' Gate, London SW7 2AZ, U. K.
schuller@ieee.org

doi:10.18420/in2017_08

Recently, computer automated systems have experienced increased applicability in various fields and consequently the ambition for automatically annotating music has risen as well. Automatic tablature annotation has since been a goal in research, as was presented by Tuohy et al. [TP05], where a system for mapping note sequences to playable tablature was proposed. In contrast to standard notation, tablature requires not only information about what note is being played, but also which specific string produced this note, making it comparatively more challenging. To date, many different approaches have been attempted. A common method is similar to Musical Instrument Recognition, where the timbral characteristics of each string are trained and tested using machine learning. Such an approach was proposed by Maezawa et al. [Ma09], where violin recordings with given standard notation were classified via a Gaussian Mixture Model. In [Ba12], Barbancho et al. proposed a different approach, using a feature called *inharmonicity*, where the divergence from the harmonic overtone series for each string was analysed and used for classification. This concept was combined with machine learning approaches by Abeßer et al. [Ab12], where a multitude of partial features, including inharmonicity, where extracted and then reduced in dimensionality using Linear Discriminant Analysis. After applying a plausibility filter, the classification was then performed by a Support Vector Machine (SVM) using an RBF kernel, achieving an F-measure of up to $F_1 = 90\,\%$ for guitar. Music transcription in general has been a challenge in research especially regarding polyphonic signals [We13]. As such, a study conducted by Marolt et al. [Ma04] showed the usefulness of neural networks for polyphonic transcription of piano music. An additional challenge was tackled by Fiss et al. in [FK11], where Automatic Guitar Transcription was computed in real-time. Another area of research is the transcription of guitar chords. Barbancho et al. [BTI11] used a Hidden Markov Model in order to accurately model chord fingerings.

In this contribution, we propose a novel approach to Automatic Guitar String Detection (AGSD) of monophonic signals, in which the frequency of the opposite part of the string is estimated. This frequency is called the String-Inverse Frequency (SIF) f_n^{-1}, which together with the frequency of the played note f_n can be used to classify the string by the unique frequency pair (f_n, f_n^{-1}). The challenge presented by this task is given through both the architecture of the guitar and the nature by which the frequency is produced. The guitar is built in a way to produce a pitch following the chromatic scale within a certain range. As such, it is desirable to have the plucked part of the string ringing as true as possible. However, the opposite part of the string does not in all cases follow any musical measure and is rather unwanted to be ringing. Therefore, the architecture of the guitar does not naturally support this part of the string and its audibility might differ for each guitar. Furthermore, the SIF is produced not by plucking the opposite part of the string, but instead by the action of pressing down the string onto the fretboard, thereby causing both parts to experience excitation simultaneously and equally in size. Both parts then begin to ring, thereby creating a polyphonic audio even though only one string is being played. Accordingly, an additional difficulty is to differentiate which frequency belongs to which part of the string. All of these aspects can compromise practical usability of this approach. AGSD solely based on SIF detection was applied for research purposes, and its applicability

in less controlled environments is topic of further discussion. In the following Section 2, we will introduce the concept of SIF. In Section 3, the database employed in our experiments is introduced, followed by a description of the whole AGSD approach and a baseline approach in Section 4. Results are presented in Section 5, before we draw a conclusion in Section 6.

2 String-Inverse Frequencies

In this work, we make use of the physical properties of stringed and fretted instruments. We examine these properties, in order to utilise them in context of SIFs.

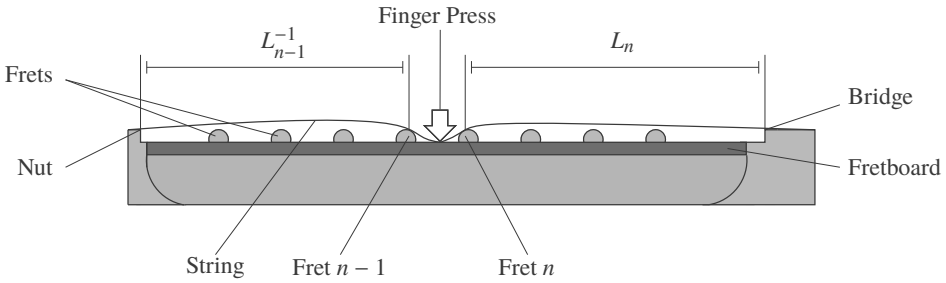


Fig. 1: A schematic model of a guitar neck. The sideview of a guitar during the action of pressing down a string is displayed. It shows the opposite part of the string, which produces the SIF on the left side and the normal part of the string, which produces the Normal Frequency, on the right side. For demonstration purposes, the distance between each fret is displayed as equal and does not represent fret spacing on actual guitars.

2.1 Physical Properties of the Guitar

Starting from the nut, which marks the beginning of the vibrating length of an open string, each fret is spaced chromatically, which will result in an increase of a semi-tone interval per fret. We can therefore determine the frequency of a string, that is played on a given fret, by using the equation for calculating a semi-tone interval based on equal tempered tuning as presented by White et al. [WW14].

Lemma 2.1. Let f be a frequency measured in Hz. The frequency $\tilde{f}$ which is a diatonic semi-tone higher than f can then be described as follows:

$$\tilde{f} = f \cdot 2^{\frac{1}{12}}. \tag{1}$$

As every fret represents a semi-tone leap from the frequency of the preceding fret, we can now calculate the frequency of any given fret on a string as

$$f_n = f_0 \cdot 2^{\frac{n}{12}}, \tag{2}$$

where n represents the number of the fret, and f_0 represents the frequency of the empty string. Another physical property of the strings is the relation between pitch and length of the string. A string of length L and with a tension T produces a pitch of frequency f. As described in [Ha02], the frequency of a string can be determined as

$$f = \frac{v}{2L}, \tag{3}$$

with $v = \sqrt{T/\mu}$ denoting the velocity of propagation of the wave and μ denoting the density of the string material. In our case, only guitars with steel strings were used. Consequently, if L is equal to the length of the scale m, i. e., the maximum length for a guitar string, then the produced pitch will be the frequency of the empty string:

$$f_0 = \frac{v}{2m}. \tag{4}$$

The pitch for two strings with the same tension and density will thus change only if the length differs. The difference in length is then inversely proportional to the change in pitch:

$$f_0 \cdot x = \frac{v}{2m \cdot x^{-1}}. \tag{5}$$

The pitch for any fret can be calculated as shown in equation 2. Consequently, the length of a string played on the n-th fret can now be derived using equation 5:

$$f_n = f_0 \cdot 2^{\frac{n}{12}} = \frac{v}{2m \cdot 2^{-\frac{n}{12}}}. \tag{6}$$

This is an important property for the purpose of this work, since we will use it for calculating the SIFs, as will be shown in the following section.

2.2 Calculation of the String-Inverse Frequencies

For the proposed method, an additional property of the guitar is needed. Section 2.1 established the frequency of a string, when the finger is placed at a specific fret, as described in equation 2. However, this only describes the frequency of the string, when the plucking point, i. e., the point where the string is *struck* in order to generate the vibration, is located on the end towards the bridge, which represents the normal way of playing the instrument.

Suppose, one would pluck the string on the opposite end towards the nut. The string would then produce a second frequency. This is the **String-Inverse Frequency** (SIF), since its pitch is inversely related to the **Normal Frequency** (NF). When the pitch of the normal frequency goes up, the SIF goes down. Since the pairs of normal and inverse frequencies

are unique for each fret, we can use this property to determine which fret on which string has been played.

In order to make use of the SIF, we first need to accurately determine it. From equation 6 it is known that the distance between the fret and the bridge is $L_n = m \cdot 2^{-\frac{n}{12}}$. Let L_n^{-1} be the distance between the nut and the given fret n, and since m denotes the length of the scale, L_n^{-1} can then be determined by subtracting L_n from the scale length m:

$$\begin{aligned} L_n^{-1} &= m - m \cdot 2^{-\frac{n}{12}} \\ &= m \cdot (1 - 2^{-\frac{n}{12}}). \end{aligned}$$

The resulting pitch of the string with a length of the distance from the nut to the fret, i. e., the SIF $f_n'^{-1}$, can thus be calculated using equation 5:

$$\begin{aligned} f_n'^{-1} &= \frac{v}{2m \cdot (1 - 2^{-\frac{n}{12}})} \\ &= \frac{f_0}{(1 - 2^{-\frac{n}{12}})}. \end{aligned} \tag{7}$$

However, since the finger is placed between two frets, the distance that needs to be calculated is one fret lower, i. e., the fret that is closer to the nut than the fret that is meant to be played. Therefore, we account for this by subtracting the fret number n by 1 and we can thus derive the definition for SIFs.

Definition 2.1. Let f_0 be the frequency of the empty string and n be the number of the played fret. The SIF of f_n, called f_n^{-1}, is then defined as:

$$f_n^{-1} = \frac{f_0}{(1 - 2^{-\frac{(n-1)}{12}})}. \tag{8}$$

Important for AGSD is the uniqueness of the SIFs. Since the pair of both NF and SIF (f_n, f_n^{-1}) is used for classification, it is crucial that no two equal pairs exist.

To proof this, let us assume that there are two strings with frequencies f_n and $\hat{f}_m$, where $f_n = \hat{f}_m$ and $n \neq m$. Suppose $f_0 > \hat{f}_0$. Accordingly, this means $n < m$, which in turn implies $f_n^{-1} > \hat{f}_m^{-1}$, since the string-inverse scale is inverse to the chromatic scale, i. e., a higher fret will produce a lower SIF. The assumption $f_0 < \hat{f}_0$ yields the analog result of $f_n^{-1} < \hat{f}_m^{-1}$, thus showing in every case that $f_n^{-1} \neq \hat{f}_m^{-1}$, provided that $f_n = \hat{f}_m$ and $f_0 \neq \hat{f}_0$. Therefore, every pair (f_n, f_n^{-1}) is unique and the string can be classified by detecting it.

3 Database

In order to ensure optimal evaluation, a database was specifically recorded for the task described in this work. As common guitar recording process does not attribute for SIF

detection, there is a special need for the creation of a new database. For the recording, an aspect considered was the acoustical attribute which SIFs inherit, meaning they are negligibly audible in electric recordings. As electric recordings we considered such, which record the direct output of an electric pickup system. The pickup system usually consists of one or two magnetic coils placed right underneath the steel strings, where the only part which interacts within their magnetic field is producing NFs. Therefore, no SIF will be recorded under these conditions. Another electric recording system which provides electric output is often found in acoustic guitars as described by Mariner [Ma77]. In such a system, the vibrations of the guitar body are amplified in order to create an electric output of the sound. Theoretically, this would allow us to audibly detect the SIFs. However, since the guitar body is built in a shape which amplifies NFs, this kind of electric output does not produce an optimal recording for our means, either.

Therefore, an acoustic set-up was chosen for the audio-recording, meaning that every guitar used in this database was recorded with a microphone placed in front of the guitar. The exact placement of the microphone was also thoroughly considered. Commonly, when recording a guitar acoustically, the microphone is placed directed at the soundhole, since this allows for best sound projection. However, for the means of this work, a different placement was chosen, since a non-biased recording regarding loudness of either SIFs or NFs was desired. For this reason, the microphone was placed facing approximately at the median length of the fretboard. In this position it is assumed for the microphone to be equally distanced to both parts of the string, when averaged over all playing positions.

The dataset features three different kinds of guitars: an *electric*, an *acoustic*, and a *bass* guitar. All instruments recorded using the same method. An electric guitar was used, even though SIFs are only acoustically detectable, since an acoustical recording of an electric guitar reduces the bias for normal frequencies given through the build of the guitar. This is due to its design, not being intended for acoustic projection. Therefore, the difference in loudness of both frequencies is minimised, which allows for optimal conditions and is thus useful for this work. Furthermore, two different kinds of plucking techniques for each guitar type are featured. One is the standard way of plucking, where upon pressing down at a fret the string is *plucked*. In these recordings, a plectrum was used for plucking. The other technique, which from here on out will be referred to as the *fretted* technique, was recorded by pressing down the string onto the fretboard. However, this action was performed without also plucking the string. This kind of variant was chosen since the only impulse given to produce the SIF is the string, as it is pressed down against the metal frets. As a consequence for no part of the string being plucked, the same energy is given to excite both parts. By not plucking the string the best possible loudness distribution between both parts is achieved, which is why it was chosen for this database. An overview over the number of samples for each instrument and plucking style is given in Table 1.

For each type of guitar and playing style, the recordings include one sample of each, within the scope from fret 3 up to and including 14, deriving a total of 12 samples per string. This scope was chosen, since a lower fret number will produce a higher SIF and as the spacing

between each fret increases for each lower fret, the relative pitch between each fret will increase exponentially. Correspondingly, the length of the inverse string will also decrease and as such not only will the sound decrease, but also the sound will ring more faintly compared to SIFs produced by higher fret numbers. Therefore, even though theoretically calculable, the SIF produced by the second fret is practically infeasible to be detected by the given set-up and was thus not included in the recorded material.

Each sample features one isolated note. Additionally, for each type of guitar and plucking technique, the database provides samples of each empty string, in order to provide the tuning of the guitar for each recording session. For our purposes, the tuning is important since the frequency of the empty string f_0 is needed for calculating the SIF, as can be seen in equation 8.

	Electric Guitar	**Acoustic Guitar**	**Bass**	
fretted	72	72	48	$\sum = 392$
plucked	72	72	48	
Total	148	148	96	

Tab. 1: Number of samples included in the database and its subsets

4 Proposed System

In this section, the system built for AGSD will be discussed. The SIF-based approach, as well as the comparative approach using Mel-Frequency Cepstral Coefficient (MFCC) features is described. Additionally, the approach for pitch detection is included.

4.1 Pitch Detection

As a first step, the Normal Frequency (NF) is detected, since it is crucial for the string detection process. If the measured frequency is too inaccurate, the list of possible string-fret combinations $C = [(n^1,f^1),(n^2,f^2),\ldots,(n^k,f^k)]$ will also be incorrect, therefore not yielding useful results when the SIF is calculated.

For pitch detection, the openSMILE toolkit as established by Eyben et al. [Ey13] was used. openSMILE utilises framewise *Subharmonic Summation* (SHS) to determine the fundamental frequency. The frame size was set to 10 ms, with a minimum pitch of 40 Hz, which approximately marks the lowest possible frequency of a bass guitar. The compression factor for SHS was set to $h = 0.85$, as a slight alteration to [He88]. Since each sound file is isolated, no additional steps for detecting onset or offset were taken. As the algorithm determines the pitch for each time frame, an additional decision process was employed in order to arrive at one final pitch for the entire file. To achieve this, a voting based algorithm was built, in which for each frequency F_t per time frame a vote is given to a candidate frequency F_c, if F_t falls within the semi-tone range of F_c. The semi-tone range

of a frequency f is determined by taking the semi-tone above and below f and calculating the middle point between f and each respective semi-tone:

$$\begin{aligned} &\text{Upper Bound:} && \left(f + f \cdot 2^{\frac{1}{12}}\right) && \cdot \tfrac{1}{2}, \\ &\text{Lower Bound:} && \left(f + \frac{f}{2^{\frac{1}{12}}}\right) && \cdot \tfrac{1}{2}. \end{aligned} \tag{9}$$

If F_t does not fall into the semi-tone range of F_c, F_t is checked for all remaining candidates and if no match is found, F_t is added to the list of candidates. The candidate with the most votes is then chosen, and the pitch is calculated by averaging over each frequency which voted for this candidate.

4.2 String-Inverse Frequency Approach

In order to classify the SIF, the system first determines the tuning $t = [f_0^1, f_0^2, \ldots, f_0^l]$ with l being the number of strings of the respective instrument, by applying the pitch detection algorithm. For the given sample, the NF is then determined. As described in Section 3, it is possible for the SIF to ring louder than the NF and, by extension, to cause the pitch detection to detect the SIF instead of the NF. This is especially likely to occur for notes played around the 12th fret and higher, since it represents the point where both scales cross each other and thereby causing the inverse string to be longer and therefore be louder than the NF, with both frequencies being in the proximity of each other.

When the NF is determined, the list of string-fret combinations $C = [(n^1, f^1), (n^2, f^2), \ldots, (n^k, f^k)]$ can be determined, with n denoting the fret number, f denoting the frequency of the empty string, and k denoting the number of possible combinations. This list is derived by iterating over every tuning entry and calculating the frequency of each fret for the given string. The respective pair is then added to C, if the frequency falls into its semi-tone range as presented in equation 9.

The SIF of each combination in C is then calculated. By using equation 2.2, the list of possible SIF candidates can be derived as $C^{-1} = [f_{n^1}^{-1}, f_{n^2}^{-1}, \ldots f_{n^k}^{-1}]$. For each entry Subharmonic Summation is applied as proposed by Hermes [He88]

$$H(f) = \sum_{n=1}^{N} h_n \cdot P(f \cdot n), \tag{10}$$

with f denoting the frequency to be summed up, N denoting the number of partials considered, h_n denoting the weight for each partial, and $P(i)$ denoting the excitation value in the spectrum at position i.

During the testing phase of this system, we noticed deviations of the SIF from the mathematically accurate frequency. In order to compensate for this effect, a semi-tone scope was applied to the target frequency. For each frequency bin within the scope,

the SHS was calculated and then finally averaged to derive the SHS value of the target frequency. By applying this, the list of averaged SHS values of each SIF can be derived as $\hat{C}^{-1} = [H(f_{n^1}^{-1}), H(f_{n^2}^{-1}), \ldots H(f_{n^k}^{-1})]$. Since the SIF and the NF share minimal number of partials, the string class (n,f) can be determined by choosing the string with the highest SHS value of its respective SIF:

$$(n,f) = \arg\max_{k}(H(f_{n^1}^{-1}), H(f_{n^2}^{-1}), \ldots H(f_{n^k}^{-1})). \tag{11}$$

Having estimated the base-frequency f, the string class s is then retrieved by matching it with the tuning t.

4.3 Baseline MFCC Approach

Since the results presented in this work are based on a specifically recorded database, a comparison with results yielded by other approaches could be misrepresentative. Thus, in order to present a comparable measure, we also built a standard machine learning system similar to the baseline experiment proposed in [Ab12]. The system was trained and tested on the database introduced in Section 3.

For this system, we again utilised the openSMILE toolkit introduced in [Ey13] to extract MFCC features, which have been used for music modelling in [Lo00]. For each sample, the functionals of the MFCCs, i. e., moments and further statistics as provided by openSMILE, were computed, resulting in a feature vector of length 360 per audio sample. The extracted features are then passed to the machine learning tool. In this work, we used the machine learning library introduced in [Pe11] with Linear Support Vector Classification (SVC) and applied a stratified 10-fold cross validation training and testing as proposed by [Ko95]. Accordingly, the training set was composed of $\frac{9}{10} \cdot S$ random samples, with S denoting the total number of samples, and the testing set $\frac{1}{10} \cdot S$ random samples, with no sample being represented in both sets at the same time. For training and testing, all samples, belonging to either guitar or bass, were considered, without differentiating between acoustic and electric or the respective play style, in order to ensure large enough training and testing sets. The evaluation was conducted by averaging the results over each fold. In order to avoid overfitting, the SVC was executed for multiple c-values and the results were averaged for each value. The range of the c-values was defined as $c = [10^{-6}, 10^{-5}, \ldots, 10^{1}]$. For each file, a list of probability values p_l is predicted by the SVC. The string s is determined by maximizing p_l as

$$s = \arg\max_{l} p_l. \tag{12}$$

The pitch detection algorithm was additionally applied, thus retrieving the normal frequency. This process was employed in order to ensure the comparability of both systems. The SIF based approach uses knowledge of the fretboard to determine which strings can produce a given frequency and, thus, the MFCC approach needs to utilise the same

knowledge. As described in Section 4.1, the list of possible combinations C is determined. Each string is assigned a *playability* value $p'(s_j)$ with

$$p'(s_j) = \begin{cases} 0, & \text{if } (n_j, f_j) \notin C, \\ 1, & \text{if } (n_j, f_j) \in C. \end{cases} \tag{13}$$

The playability values are each respectively multiplied with the probability values

$$\hat{p_j} = p_j \cdot p'_j, \tag{14}$$

thus making unplayable strings improbable as well. By employing this strategy, the string class is then determined as

$$s = \arg\max_l \hat{p_l}. \tag{15}$$

5 Experimental Results and Evaluation

In this section, we present the results yielded from our experiments. Table 2 shows the results in terms of F-measure (F_1) of both approaches as described in Section 4.

Guitar	SIF *fretted*	SIF *plucked*	MFCC	Chance Level
Electric Guitar	44 %	**60 %**	59 %	43 %
Acoustic Guitar	35 %	56 %		
Bass Guitar	71 %	58 %	**84 %**	49 %

Tab. 2: Experimental Results (F_1) with Pitch Detection

The results written in bold represent the best result of both approaches for guitar and bass respectively. The average chance level, which is different for each note, is also displayed in order to give additional context to the results yielded. It is important to note that all results yielded from the guitar samples with the *fretted* play style show values below the MFCC baseline at 59 %. The electric guitar dataset barely overpassed the chance level of 43 % with 44 % and the acoustic guitar dataset even presented values underneath the chance level with 35 %. However, *plucked* samples showed clearly higher results, with the electric guitar presenting the highest detection rate for guitar at 60 %. The bass guitar showed higher results for the fretted samples at 71 %, however, the MFCC approach presented the highest F-measure at 84 %.

It is also notable that the fretted samples, with the exception of bass recordings, show significantly lower results than plucked samples, contrary to the assumption in Section 3, that the fretted play style would result in higher detection rates. In order to investigate why, an experiment was conducted, in which the pitch detection stage was skipped and the ground-truth was replaced as NF. The results are shown in Table 3.

Guitar	SIF *fretted*	SIF *plucked*	MFCC	Chance Level
Electric Guitar	**72%**	60%	62%	43%
Acoustic Guitar	54%	56%		
Bass Guitar	73%	58%	**85%**	49%

Tab. 3: Experimental Results (F_1) with Ground Truth for Pitch

The results show a distinct increase in detection rate for fretted samples, while showing no improvement for any plucked recordings. This suggests the pitch detection to be responsible for the previously low detection rate. This might be caused by the fretted samples experiencing louder SIF projection, making it thereby harder for pitch detection to be accurate. For plucked samples, the pitch detection worked as intended, thus replacing it with the ground truth did not lead to an increase in the detection rate. The highest result for all guitars is, as supposed in Section 3, the *fretted* **electric** guitar with 72 %. The same effect can be seen for the bass samples. However, they did not surpass the MFCC approach at 85 %. When compared to the SIF approach, the high results for the MFCC approach might indicate that the bass does not experience highly accurate SIF projection. This might be caused by a particularly unfavourable build when considered for SIF detection, suggesting a potential for the SIF approach to achieve even higher results with samples from a more fitting instrument.

6 Conclusion

In this contribution, we presented a new feature called String-Inverse Frequency. A database recorded for SIF detection was introduced. A method for calculating SIF was established and its applicability for Automatic Guitar String Detection was shown and evaluated in experimental results yielding a top F-measure of 72 % for guitar and 73 % for bass guitar. A comparative baseline system utilising an MFCC-based SVM classifier was built, while being outperformed for guitar samples by the SIF approach, when accounted for pitch detection. Future research aims to fuse the SIF-based and MFCC-based approaches and to further develop the underlying concept. Moreover, the method will be evaluated on other databases, such as the IDMT-SMT-Guitar database by Kehling et al.[4].

Acknowledgement



The research leading to these results has received funding from the European Union's Seventh Framework Programme through Grant Agreement No. 338164 (ERC StG iHEARu).

[4] https://www.idmt.fraunhofer.de/en/business_units/m2d/smt/guitar.html

References

[Ab12] Abeßer, J.: Automatic string detection for bass guitar and electric guitar. In: International Symposium on Computer Music Modeling and Retrieval. Springer, London, U. K., pp. 333–352, 2012.

[Ba12] Barbancho, I.; Tardon, L. J.; Sammartino, S.; Barbancho, A. M.: Inharmonicity-based method for the automatic generation of guitar tablature. IEEE Transactions on Audio, Speech, and Language Processing, 20(6):1857–1868, 2012.

[BTI11] Barbancho, A. M.and Klapuri, A.; Tardon, L. J.; I., Barbancho: Automatic transcription of guitar chords and fingering from audio. IEEE Transactions on Audio, Speech, and Language Processing, 20(3):915–921, 2011.

[Ey13] Eyben, F.; Weninger, F.; Gross, F.; Schuller, B.: Recent developments in openSMILE, the Munich open-source multimedia feature extractor. In: Proc. ACM Multimedia. Barcelona, Spain, pp. 835–838, 2013.

[FK11] Fiss, X.; Kwasinski, A.: Automatic real-time electric guitar audio transcription. In: Proc. ICASSP. Prague, Czech Republic, pp. 373–376, 2011.

[Ha02] Hall, D. E.: Musical acoustics. Brooks Cole, 2002.

[He88] Hermes, D.: Measurement of pitch by subharmonic summation. The Journal of the Acoustical Society of America, 83(1):257–264, 1988.

[Ko95] Kohavi, R.: A study of cross-validation and bootstrap for accuracy estimation and model selection. In: Proc. IJCAI. volume 14, Montreal, QC, Canada, pp. 1137–1145, 1995.

[Lo00] Logan, B.: Mel frequency cepstral coefficients for music modeling. In: Proc. ISMIR. Plymouth, MA, USA, 2000.

[Ma77] Mariner, R. E.: , Acoustic pickups, June 1977. US Patent 4,030,396.

[Ma04] Marolt, M.: A connectionist approach to automatic transcription of polyphonic piano music. IEEE Transactions on Multimedia, 6(3):439–449, 2004.

[Ma09] Maezawa, A.; Itoyama, K.; Takahashi, T.; Ogata, T.; Okuno, H.: Bowed string sequence estimation of a violin based on adaptive audio signal classification and context-dependent error correction. In: Proc. International Symposium on Multimedia. San Diego, CA, USA, pp. 9–16, 2009.

[Pe11] Pedregosa, F.; Varoquaux, G.; Gramfort, A.; Michel, V.; Thirion, B.; Grisel, O.; Blondel, M.; Prettenhofer, P.; Weiss, R.; Dubourg, V.; Vanderplas, J.; Passos, A.; Cournapeau, D.; Brucher, M.; Perrot, M.; Duchesnay, E.: Scikit-learn: machine learning in Python. The Journal of Machine Learning Research, 12:2825–2830, 2011.

[TP05] Tuohy, D. R.; Potter, W. D.: A genetic algorithm for the automatic generation of playable guitar tablature. In: Proc. ICMC. Barcelona, Spain, pp. 499–502, 2005.

[Wa10] Wade, G.: A concise history of the classic guitar. Mel Bay Publications, 2010.

[We13] Weninger, F.; Kirst, C.; Schuller, B.; Bungartz, H.-J.: A discriminative approach to polyphonic piano note transcription using non-negative matrix factorization. In: Proc. ICASSP. Vancouver, BC, Canada, pp. 6–10, 2013.

[WW14] White, H. E.; White, D. H.: Physics and music: the science of musical sound. Courier Corporation, 2014.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 139

Soundslike – Automatic content-based music annotation and recommendation for large databases

Sascha Grollmisch[1], Hanna Lukashevich[2]

Abstract: A manual indexing of large music libraries is both tedious and costly, that is why a lot of music datasets are incomplete or wrongly annotated. An automatic content-based annotation and recommendation system for music recordings is independent of originally available metadata. It allows for generating an objective metadata that can complement manual expert annotations. These metadata can be effectively used for navigation and search in large music databases of broadcasting stations, streaming services, or online music archives. Automatically determined similar music pieces can serve for user-centered playlist creation and recommendation. In this paper we propose a combined approach to automatic music annotation and similarity search based on musically relevant low-level and mid-level descriptors. First, we use machine learning to infer the high-level metadata categories like genre, emotion, and perceived tempo. These descriptors are then used for similarity search. The similarity criteria can be individually weighted and adapted specifically to specific user requirements and musical facets as rhythm or harmony. The proposed method on music annotation is evaluated on an expert-annotated dataset reaching average accuracies of 60% to 90%, depending on a metadata category. An evaluation for the music recommendation is conducted for different similarity criteria showing good results for rhythm and tempo similarity with precision of 0.51 and 0.71 respectively.

Keywords: automatic music classification, music annotation, music recommendation, music similarity search, music information retrieval

1 Introduction

The amount of digital audio files is constantly growing and retrieval of specific music recordings gets harder with every file added to the collection. Therefore extensive annotations of different categories like genre or emotion are required for efficiently searching the database. These annotations are traditionally collected from the music labels or added by experts that listen to the song. This is both tedious and costly and nearly impossible when creating huge databases from scratch. Another approach is to extract these tags automatically from the digital music recording itself. This enables the indexing of huge amounts of audio files in a comparable short amount of time. After all songs are labeled users often require to search the database for similar songs. A standard use-case is the creation of playlists according to certain criteria. Other methods compare metadata or information on listening habits from users to obtain new playlists. These methods require a large user community and multitude

[1] Fraunhofer Institute for Digital Media Technology, Ehrenbergstr. 31, 98693 Ilmenau, goh@idmt.fraunhofer.de
[2] Fraunhofer Institute for Digital Media Technology, Ehrenbergstr. 31, 98693 Ilmenau, lkh@idmt.fraunhofer.de

doi:10.18420/in2017_09

of categories for getting reasonable results. The content-based method directly analyzes the music recording for finding similar songs without having to fulfill the requirements of the data-driven approach.

In this paper, we describe the state of the art for automatic music annotation and recommendation, propose an approach and an evaluation for both tasks. Finally, we present the "Soundslike" system that combines the automatic annotation of large amounts of music recordings enriched with the possibility of recommendations based on metadata filters and musical similarity.

2 Music annotation

The following section first describes the state of the art on the field of automatic content-based music annotation. Afterwards we name the categories and classes within the proposed system. Finally, we describe and evaluate the system for the automatic music annotation.

2.1 State of the Art

Various music annotation tasks are approached with algorithms from the field of Music Information Retrieval (MIR) algorithms [Ca08]. Current algorithms combine acoustic features and apply machine learning methods for classification such as Support Vector Machines (SVM), Gaussian Mixture Models (GMM), or deep neural networks (DNN) to automatically label a given song w.r.t. the music genre (e.g., pop, rock, jazz), the texture (e.g., hard and soft), or other categories. Automatic detection of music emotions was initially performed using categorical labels such as joyful, happy, quiet, and dark, and later performed w.r.t. the emotional dimensions valence (happy or sad) and arousal (calm or excited) [YC12]. Various feature sets have been used in the literature ranging from dynamic, rhythmic, harmonic, and tonal features. Newer studies showed that data-driven methods using Recurrent Neural Networks (RNN) outperform previous approaches for tempo detection on a wide range of musical genres [BKW15]. Until today, the main challenge is the subjectivity of ground truth annotations as well as the complexity and multi-dimensionality of the problem at hand [Fl14, Ba16]. For an overview of different computational approaches, we refer to the literature, e.g., [KS13] and [Mü15].

2.2 Categories

This section describes the categories and possible class labels which are automatically extracted by the proposed system. These definitions are also used for the annotations of the evaluation dataset and should mainly give an intuitive understanding of the categories.

Genre: Describes the style of the music. There are many possible classification approaches, e.g., by the instruments used or the country of origin. In this paper, we focus on ten popular styles of western music – Classical, Country, Electronica, Jazz, Latin, Pop, Rap, Rock, Schlager[3], and Soul.

Valence: General mood of the musical piece – High (happy) or low (sad).

Arousal: Describes the excitement of the music – High (energetic) or low (relaxing).

Emotion: Combines arousal and valence to form four possible values – Anxious (low valence with high arousal), depressed (low valence with low arousal), exuberant (high valence with high arousal) and content (high arousal with low valence).

Perceived Tempo: The perceived tempo of the music is not necessarily related to the actual tempo (BPM). Depending on the chosen rhythm, a song can be perceived from very slow to very fast in five steps.

Texture: The perceived hardness/edginess of the music – Hard or soft.

Instrumental Density: The perceived density of the music which is influenced by the quantity of used instruments, as well as its production – Full or sparse.

Distortion: The amount of distortion in the music which can be compared to the overdrive of electric guitars but can also be achieved by vocals or other instruments in four steps from clean to extreme.

Dynamic: Describes amount of dynamic changes (loud/quiet) in the musical piece – Changing or continuous.

Percussive: Describes if percussive instruments like drums are used – Non-percussive or percussive.

Synthetic: Differentiate the music by the kind of instruments being used – Acoustic, electro-acoustic or synthetic.

Key: Musical key of a song. Corresponding Major and Minor scales are combined since these share the same musical notes.

Beats per Minute (BPM): Shows the number of quarter notes (in 4/4, 3/4, etc.) or dotted quarter notes (in 6/8, 12/8, etc.) per minute and is the actually measured tempo of a song.

2.3 Proposed System

The proposed system focuses on the extraction of the described categories from the raw audio data of the music recordings. For each category, many training pieces were labeled

[3] Simple catchy music with focus on vocals and German lyrics.

and a set of low- and mid-level features was extracted. Afterwards feature selection methods and feature space transformation techniques were applied to train supervised classifiers separately for each of the categories.

We utilize a broad palette of low-level acoustic features and several mid-level representations [BP05] [Pe04]. To facilitate an overview, the audio features are subdivided into three categories covering the timbral, rhythmic, and tonal aspects of sound.

Timbral Features
Although the concept of timbre is still not clearly defined with respect to music recordings, it has proved to be very useful for automatic music classification [Le12]. To capture timbral information, we use Mel-Frequency Cepstral Coefficients, the Audio Spectrum Centroid, the Spectral Flatness Measure, the Spectral Crest Factor, and the Zero-Crossing Rate. In addition, modulation spectral features [AS03] are extracted from the aforementioned features to capture their short term dynamics. We applied a cepstral low-pass filtering to the modulation coefficients to reduce their dimensionality and decorrelate them as described in [DBG07].

Rhythmic Features
All rhythmic features used in the current setup are derived from the energy slope in excerpts of the different frequency-bands of the Audio Spectrum Envelope feature. These comprise the Percussiveness [UH03] and the Envelope Cross-Correlation (ECC). Further mid-level features are derived from the Auto-Correlation Function (ACF) [DBG07]. In the ACF, rhythmic periodicities are emphasized and phase differences are annulled. We also compute the ACF Cross-Correlation (ACFCC). In addition, the log-lag ACF and its descriptive statistics are extracted according to [GDG09].

Tonal Features
Tonality descriptors are computed from a Chromagram based on Enhanced Pitch Class Profiles (EPCP) [Le06]. The EPCP undergoes a statistical tuning estimation and correction to account for tuning deviations. Pitch-space representations as described in [Ga07] are derived from the Chromagram as mid-level features. Their usefulness for audio description has been shown in [GD09].

Machine Learning
The described features are extracted from the music recordings and collected in feature vectors. Each music recording is now represented by a feature matrix, containing a set of high dimensional feature vectors per time frame. While temporal changes in one feature often correspond to temporal changes in the other feature (for instance, timbre is changing along with loudness), the individual dimensions of feature vectors can often be strongly correlated or/and cause information redundancy. Such raw feature vectors might cause various problems on classification stage and need to be treated properly. Therefore, we first apply the feature selection (FS) algorithm Inertia Ratio Maximization using Feature

Space Projection (IRMFSP) as proposed by Peeters and Rodet [PR03]. In addition, we use feature transformation techniques (FST) as Principal Component Analysis (PCA) and Linear Discriminant Analysis (LDA) [Fu90]. Finally, we train either a Support Vector Machine (SVM) or a Gaussian Mixture Model (GMM) supervised classifier. The optimal choice of the FS, the FST, and the classifier is made for each of the categories individually by choosing the combination with the highest accuracy during the training and cross-validation.

2.4 Evaluation

For evaluation, an additional data set was created and only used for testing the proposed system. In other words the performance of the classification was measured on unseen data. The test set includes a total of 100 songs from all genres and musical eras. The selection was balanced by genres and no artist was selected more than once. Since some categories can change during a song, only snippets of 30 seconds were taken. As already mentioned, most of the categories are subjective and will be labeled differently by each annotator. To lower the influence of subjectivity, each song had been annotated by 3 expert listeners and the majority vote was chosen if there were differences between the annotators. These differences already between the expert listeners have to be kept in mind when inspecting the evaluation results. Therefore a perfect accuracy of 100% can hardly be achieved for most of the categories. Table 1 shows the accuracy (percentage of correct labeled songs) and the baseline that a random classifier would achieve on each category.

Category	Accuracy in %	Baseline in %
Genre	80	10
Valence	70	50
Arousal	75	50
Emotion	40	25
Perceived Tempo	47	20
Texture	73	50
Instrumental Density	71	50
Distortion	62	25
Dynamic	80	50
Percussive	75	50
Synthetic	65	33.33
Key	63	8.33
BPM	63 / 87	– / 1.43

Tab. 1: Evaluation results for proposed metadata categories.

The first result for BPM was for the tempo in the full range over all possible octaves. During annotation it was observed that some songs might be perceived in half or double time. Therefore a second evaluation was conducted where all tempos have been mapped to one

octave from 70 to 140 BPM. This led to a huge improvement since it eliminated ambiguity in the annotation.

All classifiers performed better than a random baseline. Very subjective categories like Emotion and Perceived Tempo were harder to classify than well defined categories like Key. The difficulties expert annotators had are also reflected in the automatic extracted labels and the results show that the extracted categories add additional information to existing metadata or databases without any metadata.

3 Music recommendation

In this section we overview the state of the art in content-based music similarity analysis. Furthermore, we propose a usage of musically-motivated similarity profiles. Finally, the proposed system is described and evaluated with respect to those similarity profiles.

3.1 State of the art

Music similarity can refer to different attributes of a music recording such as timbre, tempo, rhythm, melody, or harmony. Most content-based musical similarity algorithms represent audio recordings using several audio feature representations. Traditionally, these features relate to low-level spectral properties, such as the spectral centroid or spectral flux [Pe04]. By incorporating additional knowledge about human auditory perception mechanisms, mid-level features, such as Mel-frequency Cepstral Coefficients (MFCC), which originated from speech recognition, were used to represent the timbre of audio recordings. These features relate to smaller time scales from 10 ms to several seconds. Also, the temporal and rhythmic structure of music pieces is analyzed using Fluctuation Patterns [Po09]. In order to measure the similarity between pairs of songs, these frame-level features are grouped to a song-level time-scale using factor analysis methods such as i-vector analysis [Eg15] or supervector representations based on a Universal Background Model (UBM) using Gaussian Mixture Models (GMM) [Ch11]. Nowadays, automatic feature learning methods based on deep neural networks (DNN) and convolutional neural networks (CNN) have shown to outperform hand-crafted audio features in many content-based audio analysis tasks [HBL13]. Measuring the song-wise similarity across large databases allows to automatically generate playlists [BJ15] while song transitions appear smoother between similar tracks.

One of the main remaining challenges is a proper evaluation of the music similarity systems. Defining musical similarity directly is extremely challenging as myriad features play some role (e.g., cultural, emotional, timbral, rhythmic) [Mc12].

3.2 Proposed system

To obtain the similarity between two music pieces, we first extract acoustic features in the similar manner as for the automatic music annotation, see Section 2.3. For each of the features we calculate the similarity between music pieces based on the chosen similarity measure, e.g., Manhattan distance, Euclidean distance, Kullback-Leibler divergence [KL51], or other [LDB08]. The choice of the similarity distance is set in the similarity profile. The similarity lists obtained for distinct features are aggregated implementing the Borda's method [Dw01] [Bo84].

In our system we predefine the following four similarity profiles:*Timbre* is the most general similarity profile based on the low-level timbral features. *Harmony* similarity profile is based on the chromagram and EPCP tonal features. *Rhythm* similarity profile uses rhythmical feature derived from the ACF. *Tempo* similarity profile directly uses the extracted tempo in beats per minute.

3.3 Evaluation

Evaluating music similarity is an extremely challenging task known to be highly subjective. In this paper, we aim for an objective evaluation of proposed similarity profiles and thus do not perform a user study.

The evaluation dataset is compiled with 7109 audio snippets originating from the MAGIX[4] Soundpool collections. These recordings are professionally produced sounds and music tracks destined for professional and hobby music production. The selected audio snippets are organized in 9 collections within the following three genres: Electro, HipHop, and RockPop with 3 collections per genre. All audio snippets are annotated with the information on the type of sound (Bass, Backbeats, Brass, Drums, Audio Effect, Guitars, Keys, Mallets, Pads, Percussion, Pianos, Sequence, Scratches, Strings, Synths, Vibes, Vocals, Winds). For all harmonic sounds, there are 6–7 versions in several musically related keys available (mostly C major, D minor, E minor, F major, G major, A minor, and optionally B minor). All audio snippets within one collection have the same BPM (90, 100, 125 or 160 bpm). Summarized, for each audio sample (usually 7-15 seconds long) we have the information about its genre, key, tempo, and type of sound. Note, that several of this annotations (e.g., a genre of an audio effect sound) could only be vaguely defined, as the same sound could also match another other genre or key.

We obtain similarity lists for all audio samples in the dataset according to the four similarity profiles and evaluate the percentage (precision@10) of items in the lists sharing the same tempo, key, or genre. The results of the evaluation are presented in Table 2. Here, the last column in this table shows the result for a randomized similarity list for a particular evaluation criterion.

[4] http://www.magix.com

Similarity profile	Evaluation criteria	Precision@10	Baseline	Labels
Timbre	Genre	0.47	0.33	3
Rhythm	Genre	0.51	0.33	3
Tempo	Genre	0.71	0.33	3
Harmony	Genre	0.39	0.33	3
Tempo	Tempo	0.67	0.25	4
Harmony	Key	0.46	0.15	8

Tab. 2: Results of the similarity evaluation

While using genre information as an evaluation criterion for music similarity we observe the following results. The Rhythm and Tempo similarity profiles are having 51% and 71% samples sharing the same genre as the query sample within the similarity results lists. As Timbre similarity profile is mostly sensitive to the type of sound (i.e. music instrument) and the selected genres are having a lot of common music instruments, the timbre-based similarity returns only 47% of samples from the same genre. Harmony profile works indifferent in terms of genre information with 39% samples from the same genre, which is close to the randomized results of 33%. The Harmony similarity profile returns 46% of samples with the same key as a query sample. Here, the evaluation criterion could be extended to the related keys to treat those as similar in terms of harmony as well.

4 Soundslike

Soundslike[5] combines automatic metadata extraction with the music similarity search. The combination of both systems shows a flexible way for annotating huge databases while being able to quickly query for similar songs. The database can be extended by additional metadata from other annotation sources. The similarity search can therefore be filtered depending on the users needs enabling fast and reliable results. The database can be stored locally using SQLite[6] or decentralized on database servers with MongoDB[7] or similar systems allowing scalability depending on the number of users and music recordings.

4.1 Creating the database

The first step in using Soundslike is to build up a database. Therefore music recordings plus additional metadata have to be fed into the database as shown in Figure 1. For this process the described features are extracted from the audio file and the automatic classification on the aforementioned categories is performed. Finally, the newly extracted metadata is added

[5] https://www.idmt.fraunhofer.de/en/institute/projects_products/q_t/soundslike.html
[6] https://www.sqlite.org
[7] https://www.mongodb.com

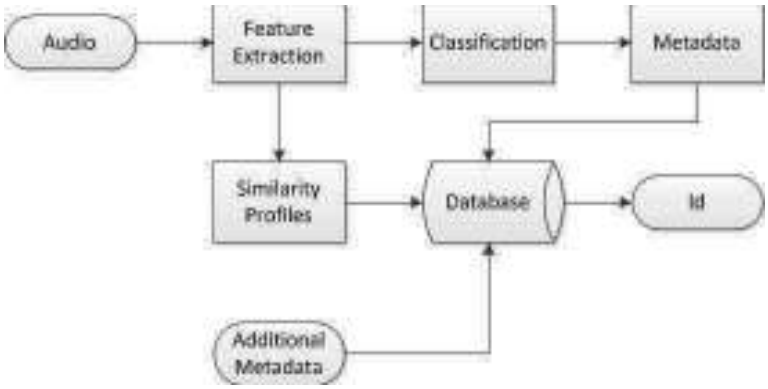


Fig. 1: Adding music recording to database.

together with existing metadata to the database. This additional metadata can be imported from different sources like ID3-Tags or iTunes. This creates a vast amount of possibilities for sorting and filtering large amounts of music data. The extracted features are also used by the selected similarity profile(s). As previously mentioned, these profiles can be adjusted to the use-case. For each added audio file, a unique id is returned which will be used for later queries.

The results of the automatic classification are also available as XML or JSON and can be used independently of the similarity results. Hereby, both automatic classification and similarity profiles can be adapted to the needs of the user (e.g., the choice of metadata categories or similarity aspects).

4.2 Recommendation

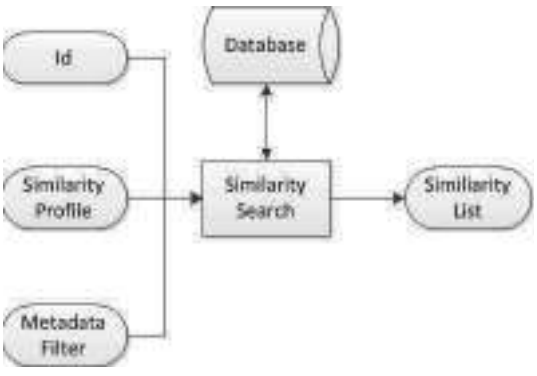


Fig. 2: Querying files for recommendation.

After a database is built, the recommendation process can be started. A previously assigned id can be used as an input for the query. Furthermore, the desired Soundslike profile can be selected and additional filters by metadata categories can be applied, see Fig. 2. The resulting similarity list can be exported in different formats like XML and JSON. Only querying audio files without inserting them beforehand to the database is also supported.

5 Conclusions

This paper presents a combined approach to automatic content-based music annotation and recommendation implemented in a Soundslike system. For the automatic music annotation, the evaluation results show room for improvement. This could be achieved by extending the training sets for each category. With enough training data, the current feature-based machine learning approach could be changed to the promising data-driven methods like CNNs. Furthermore, the extracted categories could be extended for other application-specific use-cases. For automatic music search and recommendation, we propose using predefined similarity profiles. The evaluation shows i.e. that the harmony-based similarity is indifferent to genre information but provides harmony-relevant similarity results. The music similarity can be improved by thoroughly refining the similarity profiles. The feature extraction part can be optimized with the help of feature learning and unsupervised deep learning techniques. Finally, the similarity distances can be adapted to measure the similarities of the sequences and thus enable the search of music elements like harmony progressions.

Soundslike, as described in Section 4, is used in industrial products like Jamahook, `http://www.jamahook.com`. Jamahook's Sound Match algorithm recognizes attributes of different musical elements that "match" according to key/harmony, bpm/tempo, rhythmic patterns and mood thus bring together sounds from different sources to start and/or complete a music production. This project aims to bring together creative people in the production process of music and gives users opportunities to collaborate (online platform) through matching their sounds with others.

Soundslike profits from the combined approach to music annotation and similarity. The various output formats, modular structure and support for different recommendation profiles make it flexible for various application fields. The system itself will benefit from all possible advancements in its subsystems. It can be easily updated and therefore improved by future developments.

References

[AS03] Atlas, Les; Shamma, Shihaba A.: Joint acoustic and modulation frequency. EURASIP Journal on Applied Signal Processing, 7:668–675, 2003.

[Ba16] Balke, Stefan; Driedger, Jonathan; Abeßer, Jakob; Dittmar, Christian; Müller, Meinard: Towards Evaluating Multiple Predominant Melody Annotations in Jazz Recordings. In:

Proceedings of the International Society for Music Information Retrieval Conference (ISMIR). pp. 246–252, 2016.

[BJ15] Bonnin, Geoffray; Jannach, Dietmar: Automated generation of music playlists: Survey and experiments. ACM Computing Surveys (CSUR), 47(2):26, 2015.

[BKW15] Böck, Sebastian; Krebs, Florian; Widmer, Gerhard: Accurate Tempo Estimation Based on Recurrent Neural Networks and Resonating Comb Filters. In: ISMIR. pp. 625–631, 2015.

[Bo84] Borda, Jean C de: Mémoire sur les élections au scrutin. Histoire de l'Academie Royale des Sciences pour 1781, Paris, 1784.

[BP05] Bello, Juan Pablo; Pickens, Jeremy: A Robust Mid-Level Representation for Harmonic Content in Music Signals. In: Proceedings of the 6th International Society for Music Information Retrieval Conference (ISMIR). London, UK, 2005.

[Ca08] Casey, Michael A; Veltkamp, Remco; Goto, Masataka; Leman, Marc; Rhodes, Christophe; Slaney, Malcolm: Content-based music information retrieval: Current directions and future challenges. Proceedings of the IEEE, 96(4):668–696, 2008.

[Ch11] Charbuillet, Christophe; Tardieu, Damien; Peeters, Geoffroy et al.: GMM supervector for content based music similarity. In: International Conference on Digital Audio Effects, Paris, France. pp. 425–428, 2011.

[DBG07] Dittmar, Christian; Bastuck, Christoph; Gruhne, Matthias: Novel Mid-Level Audio Features for Music Similarity. In: Proceedings of the International Conference on Music Communication Science (ICOMCS). Sydney, Australia, pp. 38–41, 2007.

[Dw01] Dwork, Cynthia; Kumar, Ravi; Naor, Moni; Sivakumar, Dandapani: Rank aggregation methods for the web. In: Proceedings of the 10th international conference on World Wide Web. ACM, pp. 613–622, 2001.

[Eg15] Eghbal-zadeh, Hamid; Lehner, Bernhard; Schedl, Markus; Widmer, Gerhard: I-Vectors for Timbre-Based Music Similarity and Music Artist Classification. In: Proceedings of the International Society for Music Information Retrieval Conference (ISMIR). pp. 554–560, 2015.

[Fl14] Flexer, Arthur: On Inter-rater Agreement in Audio Music Similarity. In: Proceedings of the International Society for Music Information Retrieval Conference (ISMIR). pp. 245–250, 2014.

[Fu90] Fukunaga, Keinosuke: Introduction to Statistical Pattern Recognition, Second Edition (Computer Science and Scientific Computing Series). Academic Press, 1990.

[Ga07] Gatzsche, Gabriel; Mehnert, Markus; Gatzsche, David; Brandenburg, Karlheinz: A Symmetry Based Approach for Musical Tonality Analysis. In: Proceedings of the 8th International Society for Music Information Retrieval Conference (ISMIR). Vienna, Austria, pp. 207–210, 2007.

[GD09] Gruhne, Matthias; Dittmar, Christian: Comparison of harmonic mid-level representations for genre recognition. In: Proceedings of the 3rd Internation Workshop on Learning Semantics of Audio Signals (LSAS). Graz, Austria, pp. 91–102, 2009.

[GDG09] Gruhne, Matthias; Dittmar, Christian; Gärtner, Daniel: Improving rhythmic similarity computation by beat histogram transformations. In: Proceedings of the 10th International Society for Music Information Retrieval Conference (ISMIR). Kobe, Japan, pp. 177–182, 2009.

[HBL13] Humphrey, Eric J; Bello, Juan P; LeCun, Yann: Feature learning and deep architectures: New directions for music informatics. Journal of Intelligent Information Systems, 41(3):461–481, 2013.

[KL51] Kullback, S.; Leibler, R. A.: On information and sufficiency. The Annals of Mathematical Statistics, 22(1), 1951.

[KS13] Knees, Peter; Schedl, Markus: Music similarity and retrieval. In: Proceedings of the 36th international ACM SIGIR conference on Research and development in information retrieval. ACM, pp. 1125–1125, 2013.

[LDB08] Lukashevich, Hanna; Dittmar, Christian; Bastuck, Christoph: Applying statistical models and parametric distance measures for music similarity search. In: Advances in Data Analysis, Data Handling and Business Intelligence. 2008.

[Le06] Lee, Kyogu: Automatic Chord Recognition from Audio Using Enhanced Pitch Class Profile. In: Proceedings of the International Computer Music Conference (ICMC). 2006.

[Le12] Lerch, Alexander: An introduction to audio content analysis: Applications in signal processing and music informatics. John Wiley & Sons, 2012.

[Mc12] McFee, Brian: More like this: machine learning approaches to music similarity. PhD thesis, University of California, San Diego, 2012.

[Mü15] Müller, Meinard: Fundamentals of Music Processing: Audio, Analysis, Algorithms, Applications. Springer, 2015.

[Pe04] Peeters, Geoffroy: , A Large Set of Audio Features for Sound Description (Similarity and Classification) in the CUIDADO Project: Technical Report, 2004.

[Po09] Pohle, Tim; Schnitzer, Dominik; Schedl, Markus; Knees, Peter; Widmer, Gerhard: On Rhythm and General Music Similarity. In: Proceedings of the 10th International Society for Music Information Retrieval Conference (ISMIR). Kobe, Japan, pp. 525–530, 2009.

[PR03] Peeters, Geoffroy; Rodet, Xavier: Hierarchical Gaussian Tree with Inertia Ratio Maximization for the Classification of Large Musical Instruments Databases. In: Proceedings of the 6th International Conference on Digital Audio Effects (DAFx). London, UK, 2003.

[UH03] Uhle, Christian; Herre, Jürgen: Estimation of tempo, micro time and time signature from percussive music. In: Proceedings of the 6th International Conference on Digital Audio Effects (DAFx). London, UK, 2003.

[YC12] Yang, Yi-Hsuan; Chen, Homer H.: Machine Recognition of Music Emotion. ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology, 3(3):1–30, 2012.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 151

Automatic speech/music discrimination for broadcast signals

Anna Kruspe[1] and Dominik Zapf[2] and Hanna Lukashevich[3]

Abstract: Automatic speech/music discrimination describes the task of automatically detecting speech and music audio within a recording. This is useful for a great number of tasks in both research and industry. In particular, this approach can be used for broadcast signals (e.g. from TV or radio stations) in order to determine the amount of music played. The results can then be used for various reporting purposes (e.g. for royalty collection societies such as the German GEMA).
Speech/music discrimination is commonly performed by using machine learning technologies, where models are first trained on manually annotated data, and can then be used to classify previously unseen audio data.
In this paper, we give an overview over the applications and the state of the art of speech/music discrimination. Afterwards, we present our approaches based on a set of audio features, Gaussian Mixture Models and Deep Learning. Finally, we give suggestions for the direction of new research into this topic.

Keywords: speech/music discrimination; music/speech classification; music detection; music analysis

1 Introduction and motivation

Speech/music discrimination describes the task of automatically detecting whether an audio signal contains speech or music content. In recent years, this has become especially relevant for TV and radio broadcasters who are broadcasting both types of signals, and need to find out details about this content for monitoring purposes. This applies to audio catalogues, media archives, and live broadcasting. Ideally, such broadcasters could analyze their playout protocols, but this may not always produce realistic results - for example, jingles, syndicated contributions, and production music will usually not be included in these lists. Even when playout protocols are being used, this information may not be synchronized with the databases of copyright holders. When metadata is available, it is often incomplete or contains historical gaps, and the rights situation is in constant flux. Historically, broadcasters have partially performed this task manually, but this is a very expensive and tedious task. For these reasons, manual music detection can only be done punctually. In addition to this, the results are highly subjective.
Automatic speech/music discrimination can help solve these tasks. The results can then again be used for various applications. First, they can assist in finding music-related metadata

[1] Fraunhofer IDMT, Semantic Music Technologies, Ehrenbergstr. 31, 98693 Ilmenau, kpe@idmt.fraunhofer.de
[2] Fraunhofer IDMT, Semantic Music Technologies, Ehrenbergstr. 31, 98693 Ilmenau, zapfdk@idmt.fraunhofer.de
[3] Fraunhofer IDMT, Semantic Music Technologies, Ehrenbergstr. 31, 98693 Ilmenau, lkh@idmt.fraunhofer.de

doi:10.18420/in2017_10

about the played music, which is necessary for reporting to copyright holders and royalty collection societies. They are also useful for ensuring that no additional copyrights are being violated (e.g. for online distribution). For royalty collection societies, the percentage of music played is important for various reasons - as an example, it determines the media format by which royalties are calculated. Finally, those results can be used internally to optimize programming and the various contributions. Broadcasting schedules can be tailored to the station's needs, and contributions can be adapted to customers' expectations.
Related technologies include plagiarism detection of musical pieces, cover version detection, mix recognition, and music similarity search.

2 State of the art

The problem of speech/music discrimination has been addressed in literature for several decades [Sa96, SS97, CPLT99]. Those systems already show promising results. However, they are usually trained and tested using clean, single-labeled recordings without noisy or mixed signals. The succeeding approaches address the development on noise robust features for speech/music discrimination [WGY03, FWX09]. Other works develop musically motivated features like Continuous Frequency Activation (CFA) [Se07]. This feature builds upon the fact that the musical signals tend to have more time stationary elements than the speech signals. CFA can be used as a standalone feature for threshold-base music detection [Se07] or in the combination with other acoustical features [HC13].
Speech/music discrimination was a task featured in the 2015 edition of the Music Information Retrieval Evaluation eXchange (MIREX)[4], which poses challenges in several MIR tasks every year and thus provides an annual overview of currently used methods. In this challenge, there were five methods that achieved an accuracy of over 99%. Three of them were using Neural Networks. One was trained in an unsupervised way by using Restricted Boltzmann Machines (RBM) and using the weights for initializing a feed-forward neural network [Sc13]. The other two implemented Convolutional Neural Networks, one using Constant Q Transform spectrograms (CQT-grams) [RLHM15], and the second one using Mel-frequency bands [Li15]. The two remaining works both implemented Random Forest classifiers for their method, one using a cent filterbank [So15] and the other one using RMS Energy, Zero Crossing Rate, Spectral Rolloff, Spectral Flux, Spectral Flatness, Spectral Flatness Per Band, and MFCCs, which were scaled and pre-processed using Principal Component Analysis (PCA) to reduce the number of dimensions down to 8 [Ts15].
Other works focus on choosing the optimal feature descriptors for speech and music. As the frequency range of human speech is different from that of music, choosing timbral features which take spectral differences into account is an obvious step. While there are several other timbral features used in audio-related machine learning tasks, which are presented below, Mel-Frequency Cepstral Coefficients (MFCC) [Lo00] have proven to perform well in speech/music discrimination [MKG16].

[4] http://www.music-ir.org/mirex/wiki/2015:Music/Speech_Classification_and_Detection

As shown in [SC14], using pitch-related features like chroma features can additionally contribute to improving classification results. Chroma features are obtained by separating the audio signal into 88 frequency bands, centered at the pitches of the equal-tempered scale, summing up the octaves resulting in 12 bins and calculating the short-time mean-square-power of each bin [MKC05]. Additionally, short-time statistics are applied to these bins, resulting in Chroma Energy Normalized Statistics (CENS).
[SC14] suggest combining such chroma-based features with other spectral features. While comparing several audio features, [MKG16] found combining MFCCs and CENS features to yield the best results in comparison to other timbral features like Spectral Flux, Spectral Centroid, andinformatik Zero Crossing Rate.

3 Proposed approach

An overview of the general processing chain is given in Figure 1. As shown, the algorithm uses audio data as its input, which is then pre-processed for the following feature extraction and classification. The produced results can then be post-processed for various purposes. We will describe these steps in more details in the following paragraphs.

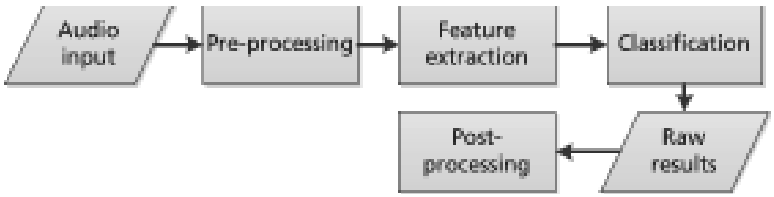


Fig. 1: Overview of the speech/music discrimination processing chain.

3.1 Pre-Processing

Audio data can be input in a variety of formats. Commonly, it comes from the multimodal broadcast signal, which contains audio and video and therefore must first be de-multiplexed to obtain the audio part. The signal is then pre-processed to shape it into a uniform format, since the following algorithms require the same audio format for which they were developed. Common pre-processing steps are normalization, re-sampling to a fixed sampling rate, and stereo-to-mono conversion.
Which steps are necessary and how they are implemented depends on what datasets are used. In our approach, two training datasets are used. The first one consists of recordings of public German TV stations (ARD, BR and SWR), which are stored in 44.1 kHz and 16-bit stereo .mp3 files. The data set consists of 171 files, with each file containing 10 minutes of audio, adding up to 28.5 hours.

The second one is the GTZAN music/speech dataset[5], which contains 60 files for both music and speech, each with a length of 30 seconds, sampled at 22.05 kHz, 16-bit, and saved as mono .wav files. In pre-processing, the broadcast recordings were decoded, resampled to 22.05 kHz, and converted to mono in order to have all files represented in the same format.

3.2 Feature Extraction

Pure audio contains a large amount of data, but is in its original shape not very conducive to determining its content. It is also highly redundant and "noisy" in the sense that it contains a high percentage of information that provides no evidence over whether or not music is contained. For this reason, we extract so-called audio features from the audio. In our approach, we use a large number of audio features that are descriptive of musical and speech content [BP05, Pe04]. To facilitate an overview, the audio features are subdivided into three categories covering the timbral, rhythmic and tonal aspects of sound. Depending on the required time resolution, audio features are then aggregated over longer time frames to smooth the representation.

Timbral features Although the concept of timbre is still not clearly defined with respect to music signals, it has proved to be very useful for automatic music signal classification. To capture timbral information, we use Mel-Frequency Cepstral Coefficients, the Audio Spectrum Centroid, the Spectral Flatness Measure, the Spectral Crest Factor, and the Zero-Crossing Rate. In addition, modulation spectral features [AS03] are extracted from the aforementioned features to capture their short term dynamics. We applied a cepstral low-pass filtering to the modulation coefficients to reduce their dimensionality and decorrelate them as described in [DBG07].

Rhythmic features All rhythmic features used in the current setup are derived from the energy slope in excerpts of the different frequency-bands of the Audio Spectrum Envelope feature. These comprise the Percussiveness [UH03] and the Envelope Cross-Correlation (ECC). Further mid-level features [DBG07] are derived from the Auto-Correlation Function (ACF). In the ACF, rhythmic periodicities are emphasized and phase differences are annulled. Thus, we also compute the ACF Cross-Correlation (ACFCC). The difference to ECC again captures useful information about the phase differences between the different rhythmic pulses. In addition, the log-lag ACF and its descriptive statistics are extracted according to [GDG09].

Tonal features Tonality descriptors are computed from a Chromagram based on Enhanced Pitch Class Profiles (EPCP) [Le06]. The EPCP undergoes a statistical tuning estimation and correction to account for tunings deviating from the equal-tempered scale. Pitch-space representations as described in [Ga07] are derived from the Chromagram as mid-level features. Their usefulness for audio description has been shown in [GD09].

[5] http://marsyasweb.appspot.com/download/data_sets/

Feature extraction is one of the major adjustment points to adapt the algorithm to specific use cases. As already presented in section 2, MFCC and Chroma features have been particularly successful in current speech/music discrimination approaches. Therefore, we reduced the feature set for our newer approaches using Neural Networks. As described in [MKG16], we calculate 13 MFCC features and 12 CENS features leading to a total of 25 features computed at a hop length of 20ms. Also each feature was normalized to have zero mean and unit variance over all training samples.

3.3 Classification

For the actual classification into the speech or music classes, we employ machine learning algorithms. These require a training procedure, which consists of feeding manually annotated data into an algorithm, which then "learns" a mapping (model) from the feature data to the annotations. Manual annotations come from human listeners, who have determined which audio segments contain music or speech.
We use realistic data for this purpose - i.e. actual broadcast recordings, together with additional music or speech recordings from other sources. In its most basic shape, we train models for mapping the features to the classes "Music" and "No music", but we have also tested other configurations. One of those distinguishes between four classes: "Music", "Speech", "Music+Speech", and "Silence/Noise". From experience, it is best to train a separate model for the task "Silence/Noise" versus "Non-Silence", and then combine the results by overwriting the output from the speech/music classifier when silence is detected. We have also started to add additional classes of audio categories, most notable "Applause". An overview of the classification process on the example of the four class variant is given in Figure 2.

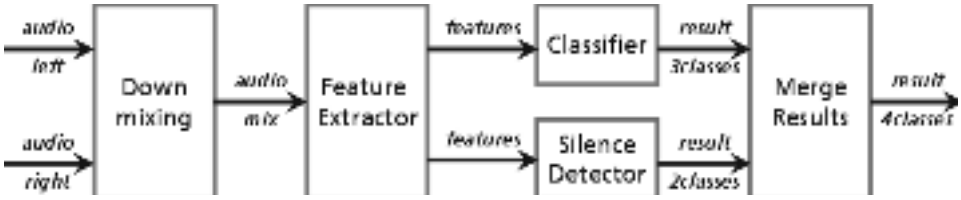


Fig. 2: Classification process on the example of 4 classes, where a separate silence detector is added.

3.3.1 Gaussian Mixture Model

Our basic approach employs so-called Gaussian Mixture Model (GMM) classifier as its machine learning algorithm. GMM is commonly used generative classifier. Single data samples of the class are thought of as generated from various sources and each source is modeled by a single multivariate Gaussian. The probability density function (PDF) of the feature frames is estimated as a weighted sum of the multivariate normal distributions.

Each single i-th mixture is characterized by its mean vector μ_i and covariance matrix Σ_i. Thus, a GMM is parametrized in $\Theta = \{\omega_i, \mu_i, \Sigma_i\}$, $i = \overline{1, M}$, where ω_i is the weight of the i-th mixtures and $\sum_i \omega_i = 1$. The generalization properties of the model can be adjusted by choosing the number of Gaussian mixtures M. The parameters of the GMM can be estimated using the Expectation-Maximization algorithm [DLR77].

3.3.2 Deep Neural Network

Our most recent approach implements an feed-forward deep neural network (DNN). While artificial neural networks were already developed in the 40s and 50s [MP43], they gained a lot of attention in the machine learning community in the last few years by increasing performance in a lot of research fields like image classification or artificial intelligence [GBC16, Ha16]. DNNs are inspired by the processes in the human brain. They typically consist of multiple layers of neurons that are activated by weighted connections to the neurons in the previous layer, the first layer representing the features used for training, and the last layer representing the results, depending on the task the DNN is designed to perform.
DNNs are often trained using a supervised learning method, which usually integrates the backpropagation algorithm - i.e., for each training example the result of the current network and the error of the result is calculated. The connection weights are then adapted using the error of the result. The performance of an DNN depends heavily on the selection of the parameters and architecture of the network [GBC16].
While the number of layers and number of neurons in each layer can be adapted to influence the overall performance of the network, the activation function (i.e. the way a neuron sums up its previous neurons) and the backpropagation algorithm can be adapted to optimize the learning process, e.g. the duration until the model converges.
We train three binary classification DNNs individually for the following three detection tasks: (a) music vs. non-music, (b) speech vs. non-speech, and (c) silence/noise vs. music/speech. With these separate models the results can be calculated and interpreted as necessary by combining the individual results. Thus, the results of the music and speech detection networks are combined with the silence detection, i.e. music and speech will be only detected when the frame was not classified as silence or noise. The presence of music and speech together is then simply given by the combination of the results of both networks.
In order to find a suitable architecture for the DNN for the discrimination task, a grid search was conducted over the number of layers and the number of nodes per layer, and the best-performing architecture was chosen to be trained with more data. In this case, a network with five fully connected layers with 100, 500, 500, 500, and 100 nodes respectively was selected which leads to about 600k adjustable parameters. These parameters were initialized randomly using glorot initializing[GB10]. Additionally, dropout was introduced to each of the five hidden layers. This has been shown to prevent the network from overfitting [Sr14]. A dropout rate of 0.3 gave us the best results. An overview of the architecture is given in 1. We chose the ReLU (Rectified Linear Unit) [NH10] as the activation function and Adam [KB14] with a learning rate of 0.001 as the optimization algorithm, which speeds up the learning process. The error of the network was calculated using binary cross entropy as

the loss function.
The DNN was implemented in Python 3 using the Keras[6] framework with the Tensorflow[7] backend. Each training epoch took roughly 3 minutes to finish, resulting in about 5 hours of total training for each network.

Layer Type	Layer Size	Activation	Dropout Rate
Input	25 x 1	-	-
Hidden	100 x 25	ReLU	0.3
Hidden	500 x 100	ReLU	0.3
Hidden	500 x 500	ReLU	0.3
Hidden	500 x 500	ReLU	0.3
Hidden	100 x 500	ReLU	0.3
Output	1 x 100	Sigmoid	-

Tab. 1: Architecture of the neural network used for the speech/music discrimination task.

3.4 Post-processing of results

Since audio features are fed frame-wise into the classification model, the results come in the shape of class likelihoods per frame. These likelihoods can then be post-processed to generate meaningful final results. One of the first steps is commonly a majority vote to determine one class per frame. In cases where the likelihoods are too similar, a decision threshold may be integrated to remove uncertain results.
Then, multiple frames are usually grouped into segments. The underlying assumption is that the class will not change rapidly over time (e.g. there will not be a segment of 10ms of music playing). For this reason, results are smoothed over time. The result is a list of segments with a start time, end time, and a class result (“speech”, “music”, etc.). Finally, such segment results can be aggregated to provide statistics over longer time frames - e.g. over whole days or weeks.

4 Results and current applications

4.1 Traditional approach using GMMs

Our traditional approach is the one using GMMs described above. We employ it for broadcasting applications, mainly those where broadcasters need to report their music percentages over longer timeframes.
In order to evaluate the validity of this approach, we compared our results to manual annotations by a German TV broadcaster. The evaluation was performed over the course of four full days of TV program, and was done for the two-class case (music present vs. no

[6] https://keras.io
[7] https://www.tensorflow.org

music present). This data comprised a mix of TV shows typically seen on German TV, such as news programs, documentations, talk shows, game shows etc.
The results over 6 hour timeframes are shown in Figure 3. The blue bars show the manually annotated amounts of music played over these timeframes (which are assumed to be ground truth), while the red bars show the results using the GMM approach. On average, the difference over these timeframes is 2.11%. This evaluation was chosen because this is usually the format requested by TV broadcasters.

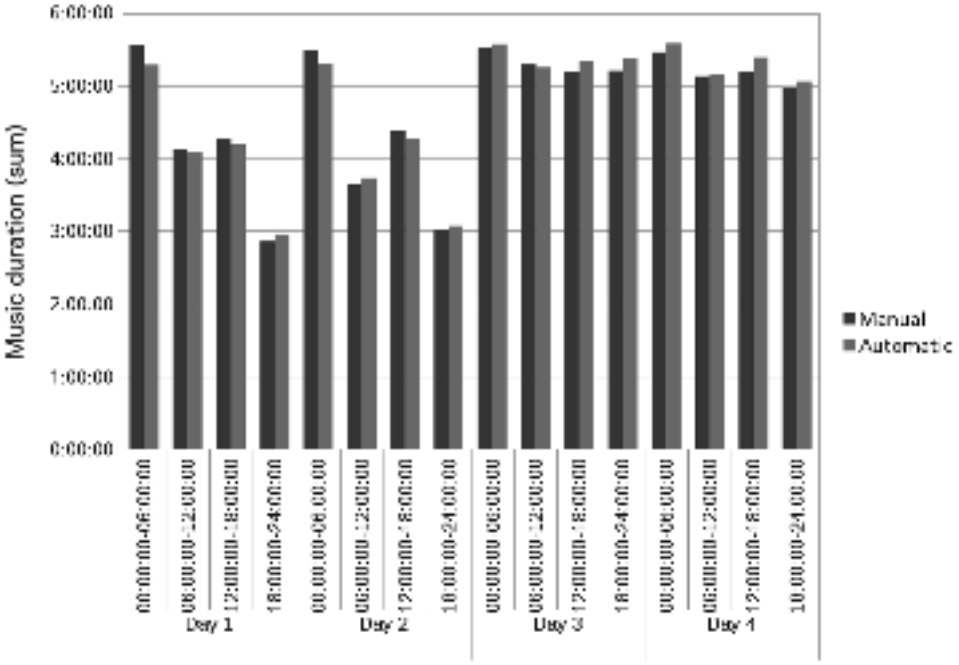


Fig. 3: Music durations in 6-hour timeframes over four days of TV broadcast audio: Manual ground truth annotations in blue vs. automatic results in red.

4.2 Current approach using an DNN

The experiments with DNNs were split up into different parts. As already stated above, it usually makes sense to separate the speech/music discrimination process into different tasks. In every training phase, a randomly selected 20% split of the training data was taken from the dataset and used as validation data to verify training results on unknown data. The results were calculated frame-wise.
In the first step, the network was trained to discriminate silence and noise from non-silence. For this task, another set of artificially generated 63 audio samples containing 30 second long segments of silence and/or noise was used in combination with the GTZAN dataset. After training for 100 epochs, the neural network was able to confidently discriminate between silence/noise and non-silence with >99% accuracy. As the broadcast recordings do not

contain any segments labeled as silence, we were not able to test this network on this dataset, but testing manually chosen frames of the dataset confirmed above results. In all of these models the classification was done on the features extracted for single 20ms long frames. In the next step, two neural networks were trained, one classifying speech/non-speech, the other classifying music/non-music. Both, the broadcast recordings and the GTZAN dataset, were used for training. Classifying speech, the neural network was able to achieve precision, recall and f-measure values of 0.99 and an accuracy of 98%. On the other hand, the network classifying music obtained a precision of 0.93, a recall of 0.89, an f-measure of 0.91 and an accuracy of 93%. One reason for the music network performing worse than the speech network could be the composition of the training data. While 84.7% of the training samples contain speech, only 35.2% of the samples contain music, so the variance of music in the training data is lower as well compared to the variance of speech.

4.3 Sources of error

Following an in-depth manual analysis of the results, we were able to identify sources of error that occur across the various approaches. The following is a non-exhaustive list, which offers starting points for improving the algorithm.

Very quiet music Due to masking effects, signals can sometimes contain music which is barely audible. Consequently, our approach often cannot detect such music either. As a human listener, the presence of music might be obvious from context (e.g., music is playing, then becomes very quiet in the background, then picks back up). Our approach could be improved by taking this context information into account.

Harmonic sounds or "chaotic" music There are environmental sounds that can disturb the algorithm by sounding like music from a technical perspective. This is especially true for highly harmonic sounds (e.g. a motor whirring) or rhythmic, percussive sounds (e.g. footsteps). In contrast, there is music that employs non-musical sounds frequently, in particular in the electronic genres. The line between those sources of audio is blurry, and distinguishing between sounds like these is difficult even for human listeners.

What is music? There is an on-going discussion between broadcasters, royalty collection societies, and research about the question what even constitutes music. For example, what about very short segments? Can music be playing for one second? What about sound effects or production sounds? What about crowds chanting?

Silence and other dramatic elements Coming from a signal perspective, silence is clearly not music. However, silence is frequently employed as a dramaturgical element in music, as are other effects. This is mainly a question of time resolution - if a very small resolution is required, how can we detect "meaningful" silence like this?

Reverb and echoes Adding reverb or echo to audio technically adds harmonic and/or rhythmic elements to it. For this reason, the algorithm may become confused by audio processed in this way.

5 Future work

While current methods of speech/music discrimination already have reached a high level of performance, there are still some machine learning approaches to be tested. A promising possibility would be using Recurrent Neural Networks (RNN), a variation of DNNs which add the ability to memorize previous data samples by extending the neurons in a recurrent layer with a hidden state. Variants of this architecture using Long Short Term Memory (LSTM) [HS97] or Gated Recurrent Units (GRU) [Ch14] cells to calculate the current hidden state were already successfully tested in other applications where some kind of memory is useful to model sequential and/or temporal properties of the data. As this also applies to speech/music discrimination, this could be a possibility to increase classification results.

Another important point usually heavily determining the performance of DNNs is the quality of the dataset. This not only means the pure audio quality, but also the variety and size of training data. Gathering large amounts of reliable data can be a difficult and time-consuming task for itself as the data has to be labeled manually. To avoid the lengthy process of manual annotation, there have been efforts to generate labels automatically through metadata. An example for this approach is the AudioSet [Ge17], which was released by a Google Research group in March 2017 and contains audio features and labels generated by metadata of videos uploaded to YouTube. This approach of data generation could contribute to improving machine learning models through extending data variety by a huge amount.

References

[AS03] Atlas, Les; Shamma, Shihaba A.: Joint acoustic and modulation frequency. EURASIP Journal on Applied Signal Processing, 7:668–675, 2003.

[BP05] Bello, Juan Pablo; Pickens, Jeremy: A Robust Mid-Level Representation for Harmonic Content in Music Signals. In: Proceedings of the 6th International Society for Music Information Retrieval Conference (ISMIR). London, UK, 2005.

[Ch14] Chung, Junyoung; Gülçehre, Çaglar; Cho, KyungHyun; Bengio, Yoshua: Empirical Evaluation of Gated Recurrent Neural Networks on Sequence Modeling. CoRR, abs/1412.3555, 2014.

[CPLT99] Carey, Michael J.; Paris, Eluned S.; Lloyd-Thomas, Harvey: A Comparison of Features for Speech, Music Discrimination. In: IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP). pp. 149–152, 1999.

[DBG07] Dittmar, Christian; Bastuck, Christoph; Gruhne, Matthias: Novel Mid-Level Audio Features for Music Similarity. In: Proceedings of the International Conference on Music Communication Science (ICOMCS). Sydney, Australia, pp. 38–41, 2007.

[DLR77] Dempster, Arthur P.; Laird, Nan M.; Rubin, Donald B.: Maximum Likelihood From Incomplete Data via the EM Algorithm. Journal of the Royal Statistical Society, Series B, 39:1–38, 1977.

[FWX09] Fu, Zhong-Hua; Wang, Jhing-Fa; Xie, Lei: Noise Robust Features for Speech/Music Discrimination in Real-time Telecommunication. In: 2009 IEEE International Conference on Multimedia and Expo (ICME). pp. 574–577, 2009.

[Ga07] Gatzsche, Gabriel; Mehnert, Markus; Gatzsche, David; Brandenburg, Karlheinz: A Symmetry Based Approach for Musical Tonality Analysis. In: Proceedings of the 8th International Society for Music Information Retrieval Conference (ISMIR). Vienna, Austria, pp. 207–210, 2007.

[GB10] Glorot, Xavier; Bengio, Yoshua: Understanding the difficulty of training deep feedforward neural networks. In: Proceedings of the Thirteenth International Conference on Artificial Intelligence and Statistics. pp. 249–256, 2010.

[GBC16] Goodfellow, Ian; Bengio, Yoshua; Courville, Aaron: Deep learning. MIT press, 2016.

[GD09] Gruhne, Matthias; Dittmar, Christian: Comparison of harmonic mid-level representations for genre recognition. In: Proceedings of the 3rd Internation Workshop on Learning Semantics of Audio Signals (LSAS). Graz, Austria, pp. 91–102, 2009.

[GDG09] Gruhne, Matthias; Dittmar, Christian; Gärtner, Daniel: Improving rhythmic similarity computation by beat histogram transformations. In: Proceedings of the 10th International Society for Music Information Retrieval Conference (ISMIR). Kobe, Japan, pp. 177–182, 2009.

[Ge17] Gemmeke, Jort F.; Ellis, Daniel P. W.; Freedman, Dylan; Jansen, Aren; Lawrence, Wade; Moore, R. Channing; Plakal, Manoj; Ritter, Marvin: Audio Set: An ontology and human-labeled dataset for audio events. In: Proc. IEEE ICASSP 2017. New Orleans, LA, 2017.

[Ha16] AlphaGo: using machine learning to master the ancient game of Go. `https://blog.google/topics/machine-learning/alphago-machine-learning-game-go/`.

[HC13] Han, Jinyu; Coover, Bob: Leveraging structural information in music-speech dectection. In: 2013 IEEE International Conference on Multimedia and Expo Workshops (ICMEW). pp. 1–6, 2013.

[HS97] Hochreiter, Sepp; Schmidhuber, Jürgen: Long short-term memory. Neural computation, 9(8):1735–1780, 1997.

[KB14] Kingma, Diederik P.; Ba, Jimmy: Adam: A Method for Stochastic Optimization. CoRR, abs/1412.6980, 2014.

[Le06] Lee, Kyogu: Automatic Chord Recognition from Audio Using Enhanced Pitch Class Profile. In: Proceedings of the International Computer Music Conference (ICMC). 2006.

[Li15] Lidy, Thomas: Spectral Convolutional Neural Network for Music Classification. MIREX, 2015.

[Lo00] Logan, Beth et al.: Mel Frequency Cepstral Coefficients for Music Modeling. In: ISMIR. 2000.

[MKC05] Müller, Meinard; Kurth, Frank; Clausen, Michael: Audio Matching via Chroma-Based Statistical Features. In: ISMIR. volume 2005, p. 6th, 2005.

[MKG16] Malviya, Yash; Kaul, Shiv; Goyal, Kushaagra: Music Speech Discrimination. CS229 Final Project, December 2016.

[MP43] McCulloch, Warren S; Pitts, Walter: A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. Bulletin of mathematical biology, 5(4):115–133, 1943.

[NH10] Nair, Vinod; Hinton, Geoffrey E: Rectified linear units improve restricted boltzmann machines. In: Proceedings of the 27th international conference on machine learning (ICML-10). pp. 807–814, 2010.

[Pe04] Peeters, Geoffroy: , A Large Set of Audio Features for Sound Description (Similarity and Classification) in the CUIDADO Project: Technical Report, 2004.

[RLHM15] Royo-Letelier, Jimena; Hennequin, Romain; Moussallam, Manuel: MIREX 2015 Music/Speech Classification. MIREX, 2015.

[Sa96] Saunders, J.: Real-time discrimination of broadcast speech/music. In: Proceedings of the IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP). Atlanta, GA, USA, pp. 993–996, 1996.

[Sc13] Schlüter, Jan: Learning binary codes for efficient large-scale music similarity search. In: Proceedings of the 14th International Society for Music Information Retrieval Conference (ISMIR). 2013.

[SC14] Sell, Gregory; Clark, Pascal: Music tonality features for speech/music discrimination. In: IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing, ICASSP 2014, Florence, Italy, May 4-9, 2014. pp. 2489–2493, 2014.

[Se07] Seyerlehner, Klaus; Pohle, Tim; Schedl, Markus; Widmer, Gerhard: Automatic Music Detection in Television productions. In: Proceedings of the 10th International Conference on Digital Audio Effects (DAFx). Bordeaux. France, 2007.

[So15] Sonnleitner, Reinhard: Speech Music Detection and Classification. MIREX, 2015.

[Sr14] Srivastava, Nitish; Hinton, Geoffrey E; Krizhevsky, Alex; Sutskever, Ilya; Salakhutdinov, Ruslan: Dropout: a simple way to prevent neural networks from overfitting. Journal of Machine Learning Research, 15(1):1929–1958, 2014.

[SS97] Scheirer, E.; Slaney, M.: Construction and evaluation of a robust multifeature speech/music discriminator. In: Proceedings of the IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP). volume 2, pp. 1331–1334, 1997.

[Ts15] Tsipas, Nikolaos; Vrysis, Lazaros; Dimoulas, Charalampos; Papanikolaou, George: MIREX 2015: Methods for Speech / Music Detection and Classification. MIREX, 2015.

[UH03] Uhle, Christian; Herre, Jürgen: Estimation of tempo, micro time and time signature from percussive music. In: Proceedings of the 6th International Conference on Digital Audio Effects (DAFx). London, UK, 2003.

[WGY03] Wang, W. Q.; Gao, W.; Ying, D. W.: A fast and robust speech/music discrimination approach. In: Proceedings of the 2003 Joint Conference of the Fourth International Conference on Information, Communications and Signal Processing, 2003 and Proceedings of the Fourth Pacific Rim Conference on Multimedia. volume 3, pp. 1325–1329, 2003.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 163

Rechnergestützte Musikethnologie am Beispiel historischer Aufnahmen mehrstimmiger georgischer Vokalmusik

Frank Scherbaum[1], Meinard Müller[2], Sebastian Rosenzweig[2]

Abstract: Historische Audioaufnahmen stellen in Fällen von mündlich überlieferten Musiktraditionen oft die einzigen Quellen über frühere musikalische Aufführungspraktiken dar. Wenn, wie im Fall der hier betrachteten mehrstimmigen georgischen Vokalmusik, schriftliche musiktheoretische Zeugnisse fehlen, stellt zum Beispiel schon die Rekonstruktion von früher verwendeten Tonleitern eine Herausforderung dar, die ohne historische Audioaufnahmen gar nicht lösbar wäre. Anhand eines Datensatzes von etwa 100 Audioaufnahmen traditioneller, mehrstimmiger georgischer Vokalmusik, die von dem gurischen Meistersänger Artem Erkomaishvili im Jahr 1966 eingesungen wurden, wird an ausgewählten Beispielen illustriert, wie die Auswertung und Interpretation musikethnologisch relevanten Audiomaterials mittels rechnergestützter Verfahren und Webtechnologie unterstützt werden kann.

Keywords: Musikethnologie. Musikinformatik. Georgische Vokalmusik. Audioverarbeitung. Aufführungspraxis.

1 Einleitung

Die traditionelle Praxis musikethnologischer Forschung besteht im wesentlichen in der Dokumentation musikalischer Aufführungen in Form schriftlicher Notizen sowie von Audio- und Videoaufzeichnungen [Ri14]. Das Ziel der Auswertung des aufgezeichneten Materials ist es dann, die Charakteristika der untersuchten Musiktradition in ihrem persönlichen, sozialen und kulturellem Kontext zu verstehen. Dabei spielt die musikalische Analyse des Audiomaterials, welche zunehmend mit Hilfe rechnergestützter Verfahren durchgeführt werden kann, eine ganz wesentliche Rolle.

Mehrstimmige georgische Vokalmusik, welche Gegenstand der hier vorgestellten Arbeit ist, stellt einen weltweit einmaligen Kulturschatz dar, der seit 2001 in die Liste des erhaltungsbedürftigen, immateriellen Kultererbes der Menschheit aufgenommen wurde. Anhand eines Datensatzes von etwa 100 historischen Audioaufnahmen traditioneller, mehrstimmiger georgischer Vokalmusik, die von dem gurischen Meistersänger Artem Erkomaishvili im Jahr 1966 eingesungen wurden, wird im Folgenden an ausgewählten Beispielen illustriert, wie die Auswertung und Interpretation musikethnologisch relevanten

[1] Institut für Erd- und Umweltwissenschaften, Universität Potsdam, fs@geo.uni-potsdam.de
[2] International Audio Laboratories Erlangen, meinard.mueller@audiolabs-erlangen.de

doi:10.18420/in2017_11

Audiomaterials mittels rechnergestützter Verfahren und Webtechnologie unterstützt werden kann. Dabei beschränken wir uns hier auf einen Aspekt der Analyse und Interpretation des melodischen Intervallgehaltes dieser Gesänge und diskutieren, welche Randbedingungen sich daraus hinsichtlich des „musikalischen Denkens“ von Artem Erkomaishvili ableiten lassen. Die hier vorgestellten Betrachtungen komplementieren die in [SMR17] beschriebenen Studien, welche sich ebenfalls auf den hier betrachteten Datensatz beziehen.

Der Artikel ist wie folgt gegliedert. Zunächst beleuchten wir in Abschnitt 2 den historischen Hintergrund zu den Tonaufnahmen von Artem Erkomaishvili und beschreiben deren Aufnahmeprozess. Daraufhin gehen wir in Abschnitt 3 auf Fragestellungen der Datenaufbereitung ein und beschreiben die für den Erkomaishvili-Datensatz erzeugten Annotationen. Weiterhin zeigen wir, wie man durch Einsatz von webbasierten Technologien den Zugriff auf die Tonaufnahmen und Annotationen erheblich vereinfachen kann. In Abschnitt 4 deuten wir das Potential rechnergestützter Verfahren für die musikethnologische Forschung an indem wir exemplarisch der Fragestellung nach der Beschaffenheit georgischer Skalenmodelle nachgehen. Der Artikel wird in Abschnitt 5 durch einen kurzen Ausblick abgerundet.

2 Hintergrund zu Erkomaishvilis Tonaufnahmen

Georgien hat eine lange und reiche Musikgeschichte, wobei die Ursprünge der traditionellen, mehrstimmigen Vokalmusik allerdings weitgehend ungeklärt sind. Für „westliche Ohren“ enthält diese oft als ungewöhnlich empfundene Intervalle, Harmonien und Harmoniefolgen und zeichnet sich durch eine beeindruckende harmonische und melodische Vielfalt aus [Zi09]. Ein großes Problem bezüglich ihrer Bewahrung in authentischer Form liegt darin, dass sie traditionell nur mündlich überliefert wurde und in der Vergangenheit praktisch nie „unverzerrt“ dokumentiert werden konnte, da hierfür die technischen Voraussetzungen fehlten. Es kann allerdings davon ausgegangen werden, dass diese Musik ursprünglich nicht in temperierter Stimmung, in welcher eine Oktave in 12 gleiche Intervalle eingeteilt ist, gesungen wurde.

Wird für untemperiert gesungene Musik eine Transkription vorgenommen, so muss ihre mikrotonale Struktur bei der Interpretation berücksichtigt werden. Dies ist in der Regel sehr aufwändig und immer subjektiv und führt sehr schnell zu unvermeidbaren Transkriptionsproblemen. Dadurch kommt es dann leicht zu Mehrdeutigkeiten in der Interpretation der melodischen und harmonischen Strukturen der Musik. Trotz des seit den 80er Jahren des letzten Jahrhunderts auch international stetig zunehmenden Interesses an der Erforschung und der Aufführung der georgischen Vokalpolyphonie werden zentrale Fragen zum Beispiel bzgl. ihrer melodischen und harmonischen Struktur bzw. der ursprünglich verwendeten Tonleitern noch immer sehr kontrovers diskutiert, wie die Tagungsbände der seit 2002 durch das Internationale Forschungszentrum für traditionelle Polyphonie regelmässig durchgeführten Symposia eindrücklich dokumentieren.

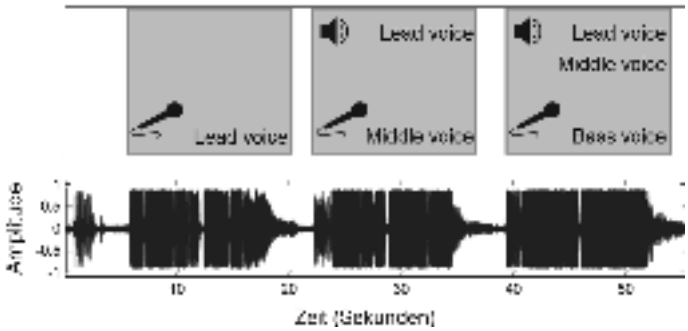


Abb. 1: Illustration des dreistufigen Aufnahmeprozesses von dreistimmigen georgischen Gesängen aufgeführt von Artem Erkomaishvili.

In diesem Zusammenhang ist eine Sammlung von Audioaufnahmen von Artem Erkomaishvili (1887-1967) – einem der letzten Vertreter der Meistersänger georgischer Musik – von großer Bedeutung. Im Jahr 1966 wurden am „Tbilisi State Conservatory“ Tonaufnahmen angefertigt, bei denen der alternde Erkomaishvili dreistimmige Gesänge aufführte, indem er nacheinander die einzelnen Stimmen sang (siehe Abb. 1). Nach der Aufnahme der ersten Stimme (im Folgenden als „Lead-Stimme“ bezeichnet) wurde ein Tonbandgerät verwendet, um diese Stimme wiederzugeben, während ein zweites Tonbandgerät verwendet wurde, um die zweite Stimme („mittlere Stimme“) synchron aufzuzeichnen. Ähnlich spielte man dann die erste und zweite Stimme ab, um dazu synchron die dritte Stimme („Bassstimme“) aufzuzeichnen. Die daraus resultierende Sammlung von ca. 100 Audioaufnahmen stellt eine wichtige Quelle für das ursprüngliche georgische musikalische Denken dar und ist für die musikethnologische Forschung von großer Bedeutung [Sh14].

3 Datenaufbereitung und Annotation

Um die Aufnahmen für die musikethnologische Forschung zugänglich zu machen, müssen diese erst einmal in geeignete Darstellungsformen (z. B. durch Transkription in eine Notendarstellung oder durch Extraktion von geeigneten Merkmalen) gebracht werden. Dieser Schritt wird in traditioneller Musikforschung oft manuell durchgeführt und kann extrem aufwändig sein. Am Beispiel des Erkomaishvili-Datensatzes wurde in [Mü17] beschrieben, wie hier automatisierte Methoden sehr gewinnbringend zum Einsatz kommen können. Zunächst wurden für jede der Aufnahmen die Segmente des dreistufigen Aufnahmeprozesses manuell bestimmt. Unter Verwendung einer interaktiven grafischen Benutzeroberfläche wurden dann Grundfrequenzverläufe (im Folgenden auch als F0-Trajektorien bezeichnet, siehe [Mü15]) der drei Stimmen bestimmt. Hierbei wurde die F0-Trajektorie der Lead-Stimme innerhalb des ersten Segments, die F0-Trajektorie der mittleren Stimme innerhalb des zweiten Segments und die F0-Trajektorie der Bassstimme im dritten Segment bestimmt. Die Segment- sowie die F0-Annotationen wurden in einem einfachen CSV-Format abgespeichert und auf

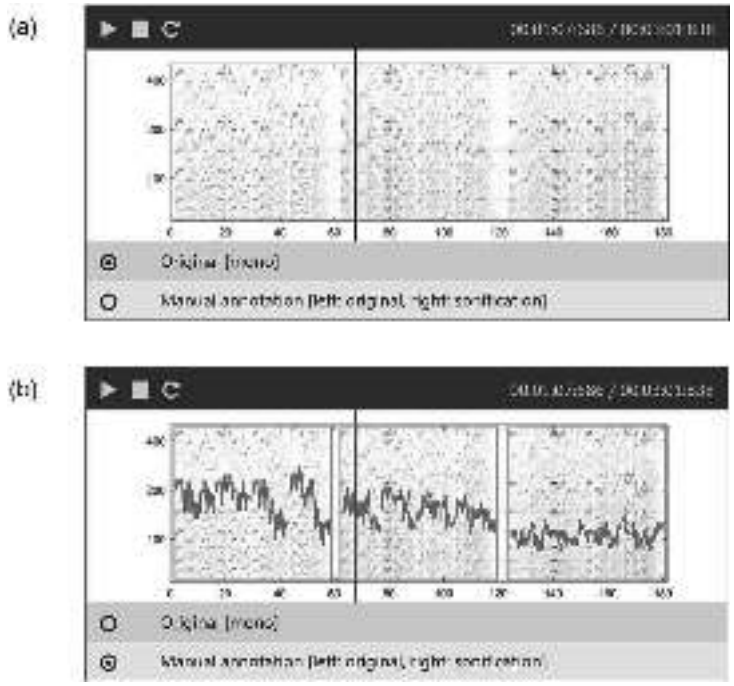


Abb. 2: Webbasierte Schnittstelle zur akustischen Wiedergabe von Audioaufnahmen und zeitsynchronenen Anzeige der jeweiligen Zeitposition in Visualisierungen von Merkmalsdarstellungen und Annotationen. **(a)** Spektrogramm der Tonaufnahme „Die Engel im Himmel“ (ID 002 im Erkomaishvili-Datensatz). **(b)** Überlagerung des Spektrogramms mit Segment- und F0-Annotationen.

einer Webseite[3] öffentlich zugänglich gemacht. Für eine ausführliche Beschreibung der Benutzeroberfläche, der zugrundeliegenden Techniken und der resultierenden Annotationen verweisen wir auf [Mü17].

Neben der Verarbeitung der Audiodaten und der Erzeugung von Annotationen können computer-basierte Methoden auch für den Zugang der unterschiedlichen Datenarten enorme Hilfestellungen leisten. Exemplarisch zeigen wir nun, wie webbasierte Technologien eingesetzt werden können, um einen direkten und intuitiven Zugang zu den Tonaufnahmen und den erzeugten Annotationen zu ermöglichen. Als Beispiel zeigt Abb. 2a eine Zeit-Frequenzdarstellung (Spektrogramm, siehe [Mü15]) der Tonaufnahme „Die Engel im Himmel“ (ID 002) aus dem Erkomaishvili-Datensatz. Beim Abspielen der Aufnahme wird die entsprechende zeitliche Position im Spektrogramm durch eine mitlaufende vertikale Linie angegeben. Beim Umschalten auf die zweite Audiospur (siehe Abb. 2b) wird das Spektrogramm mit den erzeugten Segment- und F0-Annotationen überlagert. Darüber hinaus enthält der linke Kanal in dieser Spur die ursprüngliche Audioaufnahme, während

[3] https://www.audiolabs-erlangen.de/resources/MIR/2017-GeorgianMusic-Erkomaishvili

der rechte Kanal eine Sonifikation der F0-Trajektorien bereitstellt. Hierdurch können die Annotationen leicht nachvollzogen und überprüft werden. Die Bereitstellung von Benutzerschnittstellen, die sich gerade im Bereich der Webtechnologien mittels geeigneter Module häufig ohne tiefere Programmierkenntnisse realisieren lassen, können für Forscher einen großen Mehrwert bringen, um mit dem Audiomaterial und den Annotationen zu interagieren.

4 Rechnergestützte Analysen der Tonaufnahmen

Um das Potenzial der erzeugten Annotationen im Zusammenhang mit einer rechnergestützten Analyse der Tonaufnahmen anzudeuten, gehen wir nachfolgend kurz auf die Frage ein, welche Randbedingungen sich aus den Eigenschaften der erzeugten F0-Trajektorien hinsichtlich der „tonalen Organisation“ ([Ni15]) in den Tonaufnahmen und damit über Artem Erkomaishvilis Vorstellung von der authentischen georgischen „Stimmung“ ergeben. Diskussionen über Fragen der authentischen Aufführungspraxis sind natürlich kein rein georgisches Phänomen, werden aber im Zusammenhang mit georgischer Musik seit langem mit grosser Intensität und ohne, dass sich ein Konsens abzeichnet, geführt (siehe u. a. [Er02, Ge02, We02, Go04, Ka10, TV14, Er16]). Aufgrund des Fehlens schriftlicher musiktheoretischer Zeugnisse kommt der Analyse wie dem hier vorliegenden Datensatz deshalb eine große Bedeutung zu. Im Zusammenhang mit der Betrachtung der Stimmung vor allem von Vokalmusik ist es sinnvoll, zwischen dem melodischen und dem harmonischen Intervallinventar zu unterscheiden [Ni15]. Wir wenden uns zunächst dem melodischen (Abschnitt 4.1) und anschließend dem harmonischen Intervallgehalt (Abschnitt 4.2) der Tonaufnahmen zu.

4.1 Melodischer Intervallgehalt

Bei den Tonaufnahmen des Erkomaishvili-Datensatzes, wie in Abschnitt 2 beschrieben, wurde die Lead-Stimme zunächst isoliert gesungen (siehe auch Abb. 1). Unter der Annahme, dass in diesen Passagen die Tonhöhenverteilung dem *mentalen Skalenmodell* des Sängers am nächsten kommt, wurden daher aus der F0-Trajektorie der Lead-Stimme für jede dieser Aufnahmen ein Histogramm berechnet. Hieraus wurden durch Anwendung einer geeigneten Glättung, Interpolation und Normalisierung eine Wahrscheinlichkeitsdichte („probability density function“ oder PDF) abgeleitet. Abb. 3a zeigt ein Histogram und eine abgeleitete PDF-Kurve für unser vorheriges Beispiel ID 002. Basierend auf jeder PDF-Kurve wurde dann eine Clusteranalyse mit Hilfe des k-Means-Algorithmus durchgeführt. Hierbei wurden die lokalen Maxima einer PDF-Kurve als Startwerte verwendet und $k = 9$ für die die Anzahl der Cluster gewählt. Abb. 3b zeigt das vorherige Histogram des Beispiels ID 002, das nun entsprechend der Cluster-Zugehörigkeiten eingefärbt wurde. Diese Visualisierung zeigt, dass sich die F0-Werte für die Lead-Stimme in einer solchen Weise gruppieren, dass der Tonumfang einer Oktave (z. B. von 1300 bis 2500 cent) in sieben Intervalle eingeteilt wird.

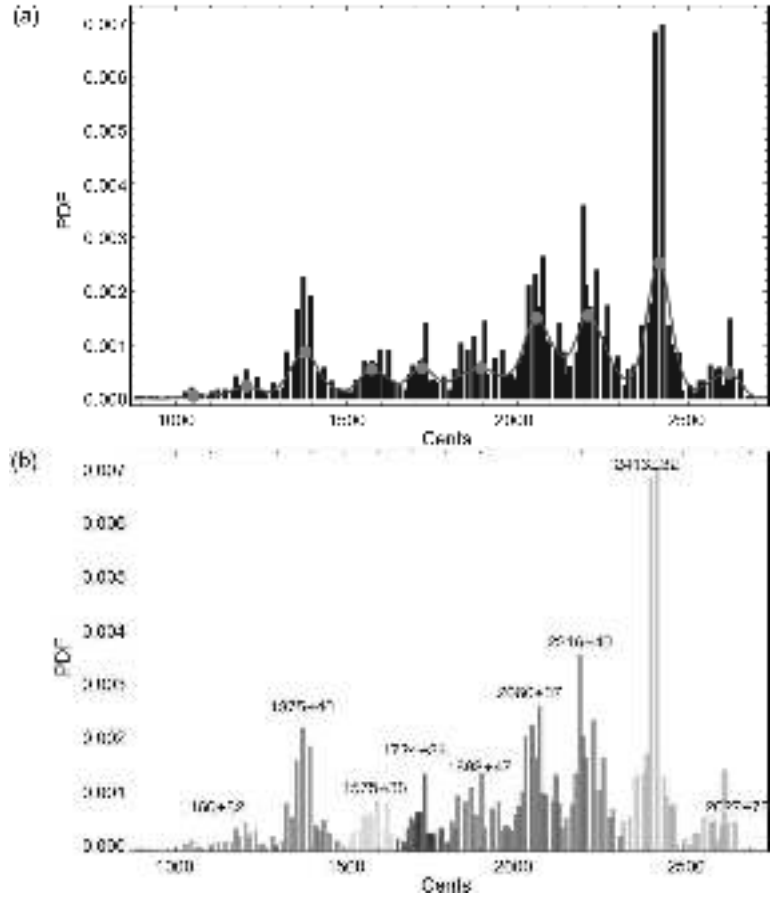


Abb. 3: **(a)** Histogramm der F0-Verteilung für die Lead-Stimme des Beispiels ID 002. Die rote durchgezogene Linie entspricht der abgeleiteten PDF-Kurve, deren Maxima durch die Kreise markiert sind. Die Referenzfrequenz für die Cent-Berechnung ist 55 Hz (d. h., 0 Cent entsprechen 55 Hz). **(b)** Eingefärbtes Histogramm entsprechend der Cluster-Zugehörigkeiten nach Anwendung eines k-Means-Algorithmus mit $k = 9$. Die numerischen Werte der Clusterzentren sind zusammen mit den jeweiligen Standardabweichungen oberhalb jedes Clusters angegeben.

Dies ist konsistent mit der Annahme, dass es sich bei den Clusterzentren näherungsweise um die Tonhöhen des *mentalen Skalenmodells* des Sängers handelt.

Zur Erklärung der durch die Cluster-Analyse berechneten melodischen Intervallverteilungen (mentalen Skalenmodelle) wurden diese in einem weiteren Schritt mit unterschiedlichen bekannten Skalenmodellen (im Folgenden als *Testmodelle* bezeichnet) verglichen. Hierzu wurden 15 unterschiedliche Testmodelle herangezogen, von denen jeweils eine Oktave in Abb. 4 dargestellt ist. Dabei handelt es sich bei den Modellen JM und SM um das sogenannte

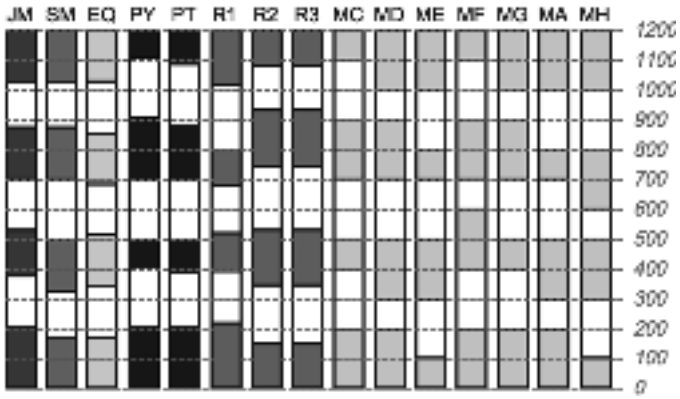


Abb. 4: Intervallverteilungen für die Skalenmodelle, die nachfolgend als Testmodelle zur Erklärung der beobachteten melodischen Intervallverteilungen im Erkomaishvili-Datensatz verwendet wurden. Die Zahlenwerte am rechten Rand sind in Cent angegeben.

„Joined Mode“ und „Split Mode“ Modell von [Er02], bei EQ um das gleichabständige Skalenmodell von [TV14], bei PY um die Pythagoräische und bei PT um die Ptolemäische Skala. Bei R1, R2 und R3 handelt es sich um zufallsgenerierte Skalen und bei MC bis MH um die Kirchentonarten auf den Tonika-Tönen C bis H.

Für jede Tonaufnahme des Erkomaishvili-Datensatzes wurde das berechnete mentale Skalenmodell mit jedem der 15 unterschiedlichen Testmodelle kreuzkorreliert. Die Testmodelle mit dem jeweils größten Korrelationskoeffizienten wurden als *Gewinnermodelle* angesehen. Für diese wurden anschließend sogenannte *Modellresiduenvektoren* wie folgt berechnet. Zunächst wurde die als mentales Skalenmodell angenommene F0-Verteilung so gegenüber dem Testmodell verschoben, dass die bei dieser Verschiebung berechnete Kreuzkorrelation dem Maximalwert der Kreuzkorrelation beider Skalen entspricht. Anschließend wurden die Distanzen der jeweiligen Intervallgrenzen der Testskala zu ihren nächsten Nachbarn auf der als mentales Skalenmodell angenommenen F0-Verteilung berechnet. Die Wertemenge der sich ergebenden Modellresiduen gibt Aufschluss darüber, wie gut (in einem absoluten Sinn) das Gewinnermodell die zu modellierende F0-Verteilung erklärt.

In diese Betrachtung wurden nur die Tonaufnahmen einbezogen, bei denen die F0-Cluster der obersten Stimme mindestens eine Oktave überstreichen. In Abb. 5 sind die Ergebnisse dieser Betrachtung in Form von Box-Whisker-Diagrammen für 46 der verbleibenden Tonaufnahmen des Erkomaishvili-Datensatz dargestellt. Eine detaillierte Analyse von Abb. 5 zeigt, dass bezüglich der Korrelation die Modelle JM und SM von [Er02] mit insgesamt 29 Gewinnermodellen sowie das Modell EQ von [TV14] mit insgesamt 12 Gewinnermodellen am erfolgreichsten sind. In einem Fall korreliert das Ptolemäische Skalenmodell (PT) und in vier Fällen eines der Zufallsmodelle (R1, R2, R3) am besten. In keinem der Fälle gehört eine der Kirchentonarten zu den Gewinnermodellen. Die Mittel-

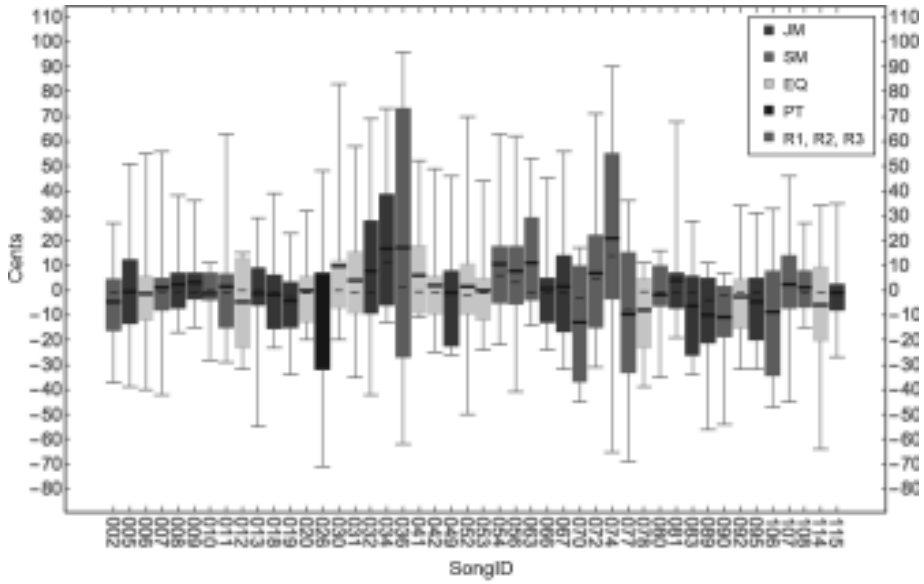


Abb. 5: Box-Whisker-Darstellung der Modellresiduenvektoren für die Gewinnermodelle (kodiert wie in Abb. 4). Die oberen und unteren Querbalken (whisker) der Box-Whisker-Diagramme stellen die maximalen Modellresiduen dar. Die oberen und unteren Begrenzungen der Rechtecke (box) entsprechenden 75-%- und 25-%- Quantilen. Die dicken und dünnen horizontalen Linien geben die jeweiligen Mittel- und Medianwerte des Residuenvektors an.

und Medianwerte der Residuenvektoren für die Gewinnermodelle liegen für einige der Tonaufnahmen in einem Bereich von etwa 10 cent, was nahe der wahrnehmbaren Schwelle ist. Dies gilt allerdings nicht für die maximalen Abweichungen. Diese sind in allen Fällen sehr viel größer, sodass man nicht davon ausgehen kann, dass Artem Erkomaishvili sie nicht wahrgenommen und korrigiert hätte, wenn er dies gewollt hätte.

Für die großen Maximalwerte der Modellresiduenvektoren sind mehrere Gründe denkbar. Einzelne F0-Cluster, vor allem solche mit einer geringen Anzahl von F0-Samples, wie z. B. das Cluster in Abb. 3b mit dem Zentrum bei 1160 cent können eine so große Standardabweichung haben, dass die Annahme, dass es sich dabei um eine Tonhöhe des mentalen Skalenmodells des Sängers handelt, nicht mehr gerechtfertigt ist. Hier könnte eine detailiertere Betrachtung der einzelnen Audioaufnahmen mit individuell angepassten Parametern bei der Clusteranalyse, die hier allerdings nicht angestrebt war, möglicherweise zu einer Verbesserung der Modellanpassung führen. Zu bedenken ist allerdings auch, wie man aus der in [SMR17] diskutierten Analyse der tatsächlich gesungenen melodischen Intervalle (im Unterschied zu den hier betrachteten F0-Clustern) schließen kann, dass eine melodische Präzision gar nicht angestrebt wurde, sondern dass vielmehr, und darauf deuten die harmonischen Intervallverteilungen in [SMR17] hin, im Zweifelsfall der harmonischen

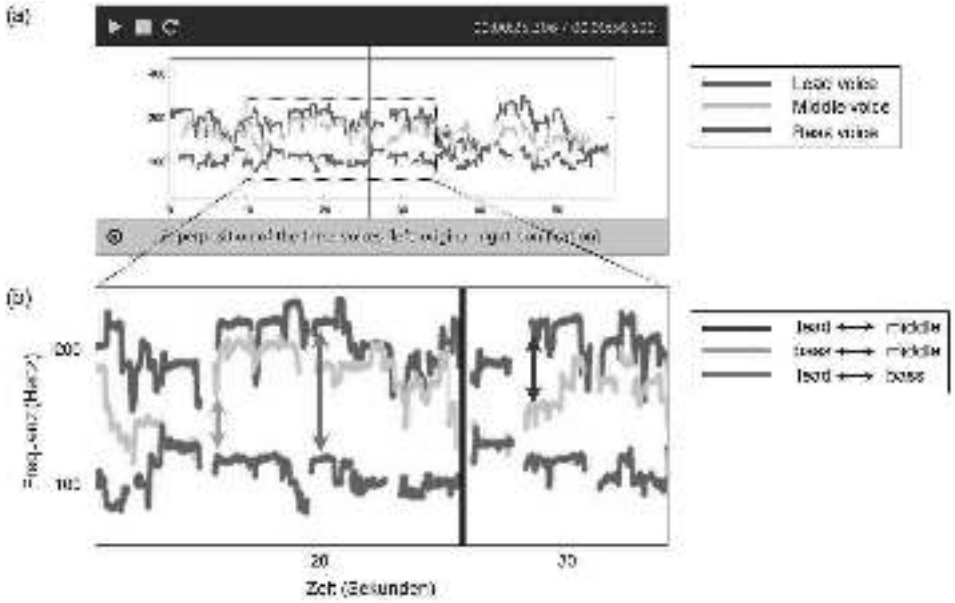


Abb. 6: Webbasierte Schnittstelle zur akustischen Wiedergabe der Überlagerung aller drei Stimmen und ihrer F0-Trajektorien. **(a)** Überlagerte Darstellung der F0-Trajektorien der Lead-, Mittel-, und Bassstimme für das Beispiel ID 002 (Fortsetzung von Abb. 2). **(b)** Vergrößerter Bereich (zoom) mit einer Illustration der Berechnung der Intervalle zwischen den unterschiedlichen Stimmen.

Präzision der Vorzug vor der melodischen gegeben wurde. Ein weiterer Grund für große Modellresiduen können Wechsel der „Tonart“ (oder genauer gesagt des „Modus“) innerhalb einer Aufnahme sein. Auch hier wäre zur besseren Analyse eine detailliertere Betrachtung der einzelnen Audioaufnahmen notwendig.

4.2 Harmonischer Intervallgehalt

Abschließend soll noch kurz auf den *harmonischen Intervallgehalt* der Tonaufnahmen eingegangen werden. Im Gegensatz zu Instrumentalmusik von Instrumenten mit festgelegtem Tonvorrat ist für mehrstimmige Vokalmusik nicht notwendigerweise damit zu rechnen, dass die verwendeten harmonischen Intervalle mit den melodischen übereinstimmen. Dies zeigt sich beispielsweise sehr deutlich in der Analyse von Feldaufnahmen von Dorfsängern aus den Bergregionen Nordwest-Georgiens (Swanetien), welche mit Kehlkopfmikrofonen aufgenommen wurden [Sc16].

Auch für die hier untersuchten Tonaufnahmen des Erkomaishvili-Datensatzes sind die F0-Trajektorien für die Einzelstimmen verfügbar (siehe Abschnitt 3). Neben der Analyse des melodischen Intervallgehalts (horizontale Sichtweise) gehen wir nun kurz auf die Analyse

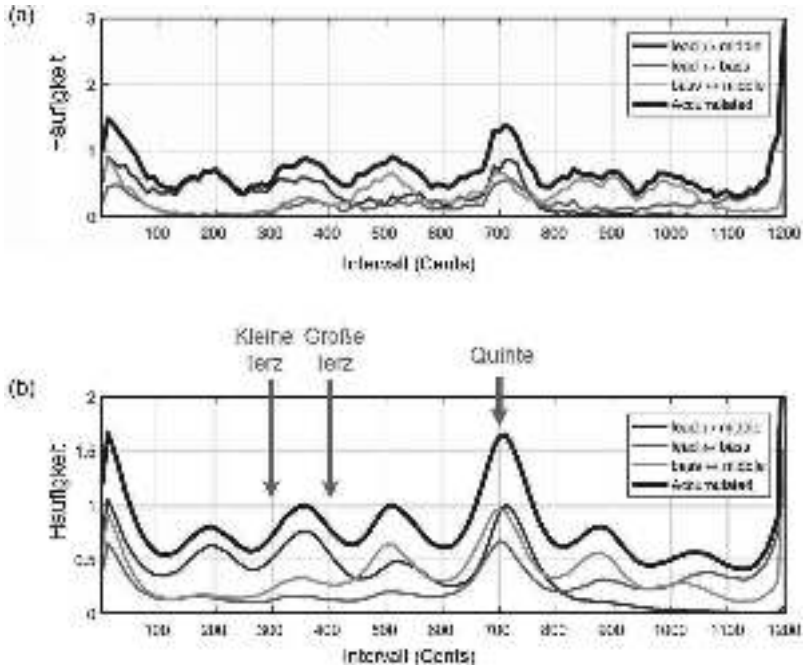


Abb. 7: Intervallverteilungen für drei Fälle (Lead- und Mittelstimme, Lead- und Bassstimme, Mittel- und Bassstimme) sowie die Gesamtverteilung über die drei Fälle („Accumulated"). **(a)** Intervallverteilung für die Aufnahme „Die Engel im Himmel" (Fortsetzung des Beispiels ID 002 von Abb. 6). **(b)** Intervallverteilung gemittelt über alle der Aufnahmen des Erkomaishvili-Datensatzes.

des harmonischen Intervallgehalts (vertikale Sichtweise) einzelner Aufnahmen sowie des gesamten Datensatzes ein, siehe auch [Mü17]. Zu diesem Zweck wurden die geschätzten F0-Trajektorien der Lead-, Mittel- und Bassstimme zeitlich überlagert (siehe Abb. 6a). Dann wurden für jede Zeitposition die Intervalle (gegeben in Cent[4]) zwischen den F0-Trajektorien der Lead- und Mittelstimme, der Lead- und Bassstimme sowie der Mittel- und Bassstimme berechnet (siehe Abb. 6b). Schließlich wurde für jeden der drei Fälle eine Intervallverteilung berechnet, in dem die auftretenden Intervalle über die Zeit integriert wurden (siehe Abb. 7a). Diese Intervallverteilungen wurden für alle Aufnahmen des Erkomaishvili-Datensatzes bestimmt.[5] Eine Mittelung dieser Verteilungen über alle Aufnahmen hinweg ist in Abb. 7b zu sehen. Diese Abbildung zeigt, dass die Quinte (abgesehen von dem Unisono) das häufigst vorkommende harmonische Intervall im gesamten Datensatz ist. Weiterhin kann man feststellen, dass die Quinte mit etwas über 700 Cent auch sehr „rein" gesungen wurde. Eine interessante Beobachtung ist, dass Erkomaishvili nicht zwischen kleiner Terz (300 Cent,

[4] Cent ist eine Maßeinheit für den Vergleich musikalischer Intervalle, siehe [Mü15]. Hierbei wird ein Halbtonintervall in 100 Cent unterteilt. Eine Oktave entspricht also 1200 Cent.

[5] Die Ergebnisse sind auf der Webseite `https://www.audiolabs-erlangen.de/resources/MIR/2017-GeorgianMusic-Erkomaishvili` verfügbar.

Moll-Terz) und großer Terz (400 Cent, Dur-Terz) – Intervalle der 12-tönigen gleichstufigen Stimmung – unterscheidet. Stattdessen wird die Terz quasi „neutral“ (also zwischen der Moll- und Dur-Terz) gesungen – eine Praxis, die sich in gleicher Weise auch heute noch in den Gesängen swanetischer[6] Sänger wiederfinden lässt [Sc16].

5 Diskussion und Ausblick

Rechnergestützte Musikethnologie (*Computational Ethnomusicology* [GHGM13, SB13, Tz07]), ist ein vergleichsweise junges Forschungsgebiet, welches sich salopp gesprochen dadurch beschreiben lässt, dass rechnergestützte Methoden zur Behandlung musikethnologischer Fragestellungen eingesetzt werden. Nach [Tz14] geschieht dies zur Zeit allerdings noch überweigend explorativ. Mit zunehmender Entwicklung des Gebietes und bei zunehmend stärkerer Interaktion zwischen Musik- und Computerwissenschaftlern könnten rechnergestützte Methoden jedoch vermehrt auch zum systematischen, datengetriebenen Testen musikwissenschaftlicher Hypothesen und damit zur Lösung musikwissenschaftlicher Fragen mittels eines naturwissenschaftlich verankerten Methodeninventars eingesetzt werden [Tz14]. Dies wurde im vorliegenden Fall am Beispiel des Vergleichs der in Abb. 4 dargestellten Skalenmodelle mit dem melodischen Intervallgehalt des Erkomaishvili-Datensatzes angedeutet. Auch wenn die Frage nach der authentischen musikalischen Aufführungspraxis traditioneller georgischer Vokalmusik nicht anhand der hier exemplarisch vorgestellten Analysen geklärt werden kann, so ist doch bereits aus den Betrachtungen dieses Beitrags deutlich geworden, dass beispielsweise die europäischen Kirchentonarten für die Beschreibung des Erkomaishvili-Datensatzes völlig ungeeignet sind. Sicher ließe sich auch die Analyse der hier als mentale Skalenmodelle angenommenen Tonhöhencluster noch verbessern, indem z. B. nur solche Clusterverteilungen betrachtet werden, bei denen bestimmte definierte Qualitätskriterien (wie z. B. beschränkte Standardabweichungen der Cluster) erfüllt sind.

Der Vergleich des *melodischen* und *harmonischen Intervallgehalts* im Erkomaishvili-Datensatz stellt ein weiteres Beispiel für das Potential rechnergestützter Verfahren in der Musikethnologie dar. Einerseits wären Betrachtungen wie die des über den gesamten Datensatz gemittelten harmonischen Intervallgehalts (Abb. 7b) ohne Rechnerunterstützung kaum möglich; andererseits verdeutlicht der Vergleich, dass das Konzept einer einzigen „eindimensionalen“ Einteilung des Tonvorrats in wie auch immer geartete Tonklassen der Komplexität der georgischen mehrstimmigen Vokalmusik, und möglicherweise auch anderen Vokalmusiktraditionen, nicht gerecht wird.

Mit den hier diskutierten Beispielen kann das Potential rechnergestützter Verfahren und Methoden der automatisierten Musikverarbeitung [Mü15] für den Einsatz in der Musikethnologie [Ri14] natürlich nur ansatzweise illustriert werden. Der Erfolg einer „rechnergestützten Musikethnologie“ wird sicherlich sehr stark davon abhängen, inwieweit Musikethnologen (welche letztendlich die Fragestellungen liefern) und Computerwissenschafler (welche

[6] Swanetien ist eine Bergregion Georgiens im Großen Kaukasus.

über ein reichhaltiges Methodeninventar der Audioverarbeitung, der Algorithmik und des maschinellen Lernens verfügen) bereit sind, in einen interdisziplinären Dialog zu treten.

Danksagungen

Die International Audio Laboratories Erlangen sind eine Gemeinschaftseinrichtung der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg (FAU) und des Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen IIS. Wir danken Stefanie Kämmerle, Vlora Arifi-Müller und Stefan Balke für die Hilfe bei der Erstellung der Annotationen und der Webseiten.

Literaturverzeichnis

[Er02] Erkvanidze, Malkhaz: On georgian scale system. In: The First International Symposium on Traditional Polyphony: 2-8 September, 2002, Tbilisi, Georgia. S. 178–185, 2002.

[Er16] Erkvanidze, Malkhaz: The Georgian Musical System. In: 6th International Workshop on Folk Music Analysis, Dublin, 15-17 June, 2016. S. 74–79, 2016.

[Ge02] Gelzer, Stuart: Testing a scale theory for Georgian folk music. In: The First International Symposium on Traditional Polyphony: 2-8 September, 2002, Tbilisi, Georgia. S. 194–200, 2002.

[GHGM13] Gómez, Emilia; Herrera, Perfecto; Gómez-Martin, Francisco: Computational Ethnomusicology: perspectives and challenges. Journal of New Music Research, 42(2):111–112, 2013.

[Go04] Gogotishvili, Vladimer: On authentic and plagal types of monotonic (non-octave) scales in Georgian traditional vocal polyphony. In: Proc. of the Second International Symposium on Traditional Polyphony, 23-27 September, 2004, Tbilisi, Georgia. S. 218–226, 2004.

[Ka10] Kawai, Norie; Morimoto, Masako; Honda, Manabu; Onodera, Eiko; Oohashi, Tsutomu: Study on sound structure of Georgian traditional polyphony. Analysis of its temperament structure. In: The Fifth International Symposium on Traditional Polyphony, 4-8 October, 2010, Tbilisi, Georgia. Jgg. 1, S. 532–537, 2010.

[Mü15] Müller, Meinard: Fundamentals of Music Processing. Springer Verlag, 2015.

[Mü17] Müller, Meinard; Rosenzweig, Sebastian; Driedger, Jonathan; Scherbaum, Frank: Interactive Fundamental Frequency Estimation with Applications to Ethnomusicological Research. In: Submitted to the AES Conference on Semantic Audio. Erlangen, Germany, 2017.

[Ni15] Nikolsky, Aleksey: Evolution of tonal organization in music mirrors symbolic representation of perceptual reality. Part-1: Prehistoric. Frontiers in Psychology, 6(OCT):1–36, 2015.

[Ri14] Rice, Timothy: Ethnomusicology: A very short introduction. Oxford University Press, 2014.

[SB13] Savage, Patrick E.; Brown, Steven: Toward a New Comparative Musicology. Analytical Approaches To World Music, 2(2):148–197, 2013.

[Sc16] Scherbaum, Frank: On the benefit of larynx-microphone field recordings for the documentation and analysis of polyphonic vocal music. Proc. of the 6th International Workshop Folk Music Analysis,15 - 17 June, Dublin/Ireland, S. 80–87, 2016.

[Sh14] Shugliashvili, David: Georgian Church Hymns. Georgian Chanting Foundation, Tbilisi State Conservatiore, 2014.

[SMR17] Scherbaum, Frank; Müller, Meinard; Rosenzweig, Sebastian: Analysis of the Tbilisi State Conservatory Recordings of Artem Erkomaishvili in 1966. In: International Workshop on Folk Music Analysis (FMA). Málaga, Spain, 2017.

[TV14] Tsereteli, Zaal; Veshapidze, Levan: On the Georgian traditional scale. In: The Seventh International Symposium on Traditional Polyphony: 22-26 September, 2014, Tbilisi, Georgia. S. 288–295, 2014.

[Tz07] Tzanetakis, George; Kapur, Ajay; Schloss, W Andrew; Wright, Matthew: Computational Ethnomusicology. Journal of Interdisciplinary Music Studies, 1(2):1–24, 2007.

[Tz14] Tzanetakis, George: Computational ethnomusicology: a music information retrieval perspective. In: Music Technology meets Philosophy - From Digital Echos to Virtual Ethos: Joint Proceedings of the 40th International Computer Music Conference (ICMC) and the 11th Sound and Music Computing Conference (SMC). Michigan Publishing, Athens, Greece, 2014.

[We02] Westman, Johan: On the problem of the tonality in Georgian polyphonic songs: The variability of pitch, intervals and timbre. In: The First International Symposium on Traditional Polyphony: 2-8 September, 2002, Tbilisi, Georgia. S. 212–220, 2002.

[Zi09] Ziegler, Susanne: Georgien. In: Musik in Geschichte und Gegenwart, S. 1271–1278. 2009.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 177

Recognising Guitar Effects – Which Acoustic Features Really Matter?

Maximilian Schmitt[1] and Björn Schuller[2]

Abstract: The recognition of audio effects employed in recordings of electric guitar or bass has a wide range of applications in music information retrieval. It is meaningful in holistic automatic music transcription and annotation approaches for, e. g., music education, intelligent music search, or musicology. In this contribution, we investigate the relevance of a large variety of state-of-the-art acoustic features for the task of automatic guitar effect recognition. The usage of functionals, i. e., statistics such as moments and percentiles, is hereby compared to the bag-of-audio-words approach to obtain an acoustic representation of a recording on instance level. Our results are based on a database of more than 50 000 monophonic and polyphonic samples of electric guitars and bass guitars, processed with 10 different digital audio effects.

Keywords: Guitar Effects; Music Information Retrieval; Bag-of-Audio-Words

1 Introduction

Digital audio effects are methods of modifying the acoustic waveform in audio (mostly music) recordings. Applying audio effects can make a recording more vivid, change or enhance the mood of a musical piece, or simulate the sound of arbitrary instruments or environments. During the last century, a large number of effects have evolved. In contrast to the first realisations of acoustic effects, which were based on electromechanical devices or analogue circuits, the majority of nowadays' effects are implemented in digital circuits or in software, as part of a digital audio workstation (DAW). These provide the artist with a large bandwidth of methods to modify, enhance, or mix audio recordings.

While the generation of digital audio effects is well-studied [Zö11], this is not the case for their automatic recognition. However, methods to automatically detect and classify audio effects applied to a signal have several applications in the field of *music information retrieval* (MIR). First of all, it can be employed to enhance the performance of *automatic music transcription* systems [KV09, Be13, Ke14]. In this context, effect recognition can be used in two ways: Firstly, recognising the acoustic transformation of the signal prior to or in combination with pitch detection can improve its accuracy. Secondly, providing

[1] Chair of Complex and Intelligent Systems, Universität Passau, Innstraße 43, 94032 Passau, Germany
maximilian.schmitt@uni-passau.de
[2] Chair of Complex and Intelligent Systems, Universität Passau, Innstraße 43, 94032 Passau, Germany;
Department of Computing, Imperial College London, 180 Queens' Gate, London SW7 2AZ, U. K.
schuller@ieee.org

doi:10.18420/in2017_12

information about instrumentation and applied audio effects themselves to the user, can augment automatic music transcription or annotation systems used for music education [Di12] and musicology [Ab17]. Moreover, the analysis of employed effects can be an important aspect in *intelligent music search* and *recommendation* applications, as some effects might be related to a certain mood or genre the user is looking for [SDP12].

Previous research on automatic audio effect recognition in guitar and bass recordings has been conducted by Stein et al. [St10b]. The authors created the IDMT-SMT-AUDIO-EFFECTS database[3] of monophonic and polyphonic guitar recordings and monophonic bass recordings. Isolated tones or chords have been recorded and modified with 10 different effects in a DAW. The authors extracted three types of acoustic (spectral, cepstral, and harmonic) features on the sustain part of each sample and employed a *support vector machine* for classification. In addition to the isolated samples, the evaluation was done on audio mixtures of multiple instruments. A similar approach has also been used by Stein for the recognition of cascaded effects [St10a].

In this contribution, we pursue an approach which does not incorporate any preprocessing or segmentation of the samples. Thus, the attack and decay parts of the notes, which are highly depending on the plucking style and the instrument itself, are present in the analysed audio. This makes the whole task more challenging for a system that is supposed to work independent from an instrument and the playing style, on the one hand, but on the other hand, it is not depending on any preprocessing, such as onset detection, which can introduce additional error. We compare the performance of a recognition system based on different classes of standard acoustic features, combined on instance level using either functionals (statistics, such as *moments* of different orders, *percentiles*, and *extrema*) or a *bag-of-audio-words* (BoAW) representation.

In the BoAW method, an audio sample is summarised as a histogram of vector quantised frame-level acoustic features. The approach has been introduced originally in the field of *natural language processing*, where it is known under the name *bag-of-words*, but has gained increasing interest in the visual (*bag-of-visual-words, BoVW*) and audio community. Most of the research on BoAW has been done on *acoustic event detection* and *classification* [PA12, Ra13, GPF15], but it has also been applied successfully in the context of further machine recognition tasks, such as *emotion recognition* in speech [Po15, SRS16] and classification of *snore sounds* [Sc16]. Also in the field of MIR, a number of publications on BoAW already exists. Riley et al. exploit the approach for *audio fingerprinting*, based on *Chroma* features [RHG08]. Authors report that their method works well for the detection of cover/live versions of songs, even if the cover is much longer due to an extended guitar solo. This shows that BoAW can capture the overall distribution of features and match versions of songs as long as the distribution of chords or musical keys is similar. Yeh et al. used BoAW based on the short-time spectrum for *music genre classification* [YSY13].

[3] Link to the IDMT-SMT-AUDIO-EFFECTS database: `https://www.idmt.fraunhofer.de/en/business_units/m2d/smt/audio_effects.html`

This contribution is organised as follows: After a description of the IDMT-SMT-Audio-Effects database in Section 2, we explain our approach in detail in Section 3. Experiments and results are presented in Section 4 and discussed in Section 5. In Section 6, we conclude and give an outlook on future research in the field.

2 Database

The IDMT-SMT-Audio-Effects database by Stein et al. [St10b] contains isolated monophonic and polyphonic samples of guitars and monophonic samples of bass guitars. In detail, the following four instruments have been recorded, each one in two different configurations:

1. Yamaha BB604 (bass)
2. Warwick Corvette (bass)
3. Schecter Diamond C-1 Classic (guitar)
4. Chester Stratocaster (guitar)

For the monophonic recordings, each note between the 0-th and the 12-th fret has been recorded in two different plucking styles (finger and plectrum). For the polyphonic database, several chords (consisting of 2 to 6 notes) have been recorded for each of the two guitars using a plectrum. Each sample has a duration of approximately 2 seconds and was modified in a DAW using 10 different audio effects. The effects can be categorised into 3 groups as shown in Table 1.

The *modulating* effects are those effects where the basic parameters of the approximately sinusoidal audio signal (amplitude, frequency, and phase) are varied over time [Zö11]; whereas *Tremolo* denotes an amplitude modulation and *Vibrato* denotes a frequency modulation[4]; the effects *Chorus*, *Flanger*, and *Phaser* mix the audio signal with a shifted version of itself, with a time-varying delay. For *Chorus*, this is done in a rather random manner, simulating the presence of several synchronous instruments (‘choir’) in a single-instrument track. For *Flanger* and *Phaser*, the delay is given by a sinusoid, whose frequency is lower for the *Phaser*.

Ambience effects try to simulate different environments. *Reverb* adds a quite natural reverberation to the sound as present in recording rooms in case they are not anechoic. *Delay* adds a distinguishable copy of each sound after an interval of around 0.1 s to 2.0 s, so that it is perceived as an ‘echo’. While *Slapback Delay* manifests only as a single copy, *Feedback Delay* generates multiple copies of the signal.

Finally, guitar or bass recordings are very often subject to *nonlinear* distortions. Those effects are usually generated already through the nonlinear characteristics of the amplifying

[4] In practice, *Vibrato*, especially in the singing voice, comes also with an amplitude modulation due to physiological constraints.

Effect group		
Modulation	**Ambience**	**Nonlinear distortions**
Chorus	Reverb	Overdrive
Flanger	Feedback Delay	Distortion
Phaser	Slapback Delay	
Tremolo		
Vibrato		

Tab. 1: Audio effects present in the IDMT-SMT-AUDIO-EFFECTS database (10 audio effects in 3 groups).

elements (tube or transistor) in a guitar or bass amplifier. Nevertheless, the effects can be simulated in a DAW. The difference between *Overdrive* and *Distortion* is mainly defined by the operating point on the characteristic curve. While *Overdrive* specifies an operating range in both the linear and the nonlinear area, for the more intense effect of *Distortion*, only the nonlinear part is used [Zö11].

In addition to the described audio effects, the unprocessed audio samples (noFX) are contained in the database. While for the processed samples, three different effect settings are available for each sample, the samples without effects are augmented with two different amplifier simulations, resulting in the same number of samples for each effect and the noFX class[5]. This leads to a database of 55 044 samples; 10 296 monophonic instances for each instrument and 6 930 instances for the polyphonic recordings of each guitar.

3 Methodology

The approach proposed in this section consists of three steps. First, acoustic *frame-level features* (often referred to as *low-level descriptors, LLDs*) are extracted. Then, the frame-level features are summarised over each instance (sample) using either *functionals* or a *BoAW* representation. Finally, the instance level feature vector is decoded using a *support vector machine* classifier. In comparison to the approach followed by [St10b], no segmentation of the samples to detect the sustain part is done prior to feature extraction.

3.1 Acoustic frame-level features

The frame-level features capture the short-term characteristics of an audio signal within a short interval ('frame') in time, where the signal is supposed to be quasi-stationary. In other words, frame-level features are numeric descriptors of certain properties of the audio signal. Those properties can be the *energy* of the waveform or its frequency of changing its sign (*zero crossing rate*), but usually, also much more complex descriptors are employed. These are, first of all, *spectral* features, describing the amplitude of the signal in certain frequency bands, but also the predominant frequency of the signal (*pitch, F0*) and the ratio

[5] The samples denoted by *noFX* and the samples denoted by *EQ* in the database constitute our *noFX* class.

of *harmonic* content in the signal, as opposed to noise. Over the past few years, there has been a lot of research on the suitability of feature sets for different audio recognition tasks. In the field of *computational paralinguistics*, dealing with the recognition of speakers' states and traits (such as emotion and health) from speech, one driving factor has been the series of *ComParE* challenges at the *Interspeech* conferences, beginning in 2009 [SSB09]. In the 2013 challenge, the large-scale ComParE feature set [Sc13] has been introduced, which is based on 65 frame-level features and their corresponding *delta* coefficients, i. e., their differences between adjacent frames, in total, a feature vector of size 130 per frame. Many features used in computational paralinguistics, such as *spectral*, *cepstral* (such as Mel-frequency cepstral coefficients, *MFCC*), *energy-related*, or *pitch-related* features, have also proven their suitability for acoustic scene classification [GSR13] and MIR [We13], which motivates their investigation in the context of audio effect recognition.

Feature extraction is done with the toolkit openSMILE [Ey13] on overlapping frames with a hop size (frame shift) of 10 ms. Two different frame sizes were used, depending on the feature type: For *energy*, *spectral*, and *cepstral* features, a size of 20 ms was employed; for *zero-crossing rate* and all features related to *pitch* (e. g., *voicing probability* and *jitter*), a size of 60 ms was employed. A detailed list of all frame-level features is given in Table 2; further details on their computation are given in [Ey15].

3.2 Functionals

As the short-term information of the frame-level features is usually not meaningful for the classification of a whole audio sample (instance), they need to be summarised over the whole sample. A straightforward approach to this is using so-called *functionals*, i. e., statistics for each of the 65 frame-level features (coefficients) and their delta coefficients (deltas) over each sample. Those statistical measures can, e. g., be *arithmetic mean*, *standard deviation*, *skewness*, *kurtosis*, *quartiles*, *inter-quartile ranges*, *percentiles*, *regression coefficients and error*, *total ranges of coefficients*, *peak values*, *rise time*, and *linear prediction gain and coefficients*.

A set of meaningful functionals is already defined in the ComParE feature set [Sc13]. Some of the functionals are not or only applied to the delta coefficients, which results in a total number of 6 373 features per instance. Detailed information on the functionals are given in [Ey15]. An overview of the feature types investigated in this contribution is given in Table 2.

3.3 Bag-of-audio-words

BoAW are summarising the frame-level features of one instance in a histogram, i. e., in a representation counting the term frequencies of each frame-level feature within an audio sample. The order of the input features within the sample is not taken into account in this approach. As opposed to linguistic words, which are discrete, the frame-level features are vectors of continuously valued numbers, so, there would be an infinite amount of audio

Feature type	# Frame-level features	# Instance level features (coefficients)	# Instance level features (deltas)	# Instance level features (coef. + deltas)
RMS energy	1	54	46	100
Zero-crossing rate	1	54	46	100
Spectral features	15	810	690	1 500
Auditory spectrum	28	1 512	1 288	2 800
MFCCs 1-14	14	756	644	1 400
F0	1	44	39	83
logHNR	1	39	39	78
Voicing probability	1	39	39	78
Jitter (local + DDP)	2	78	78	156
Shimmer (local)	1	39	39	78
Total	**65**	**3 425**	**2 948**	**6 373**

Tab. 2: Feature types present in the ComParE feature set. MFCC: Mel-frequency cepstral coefficients; HNR: Harmonics-to-noise ratio

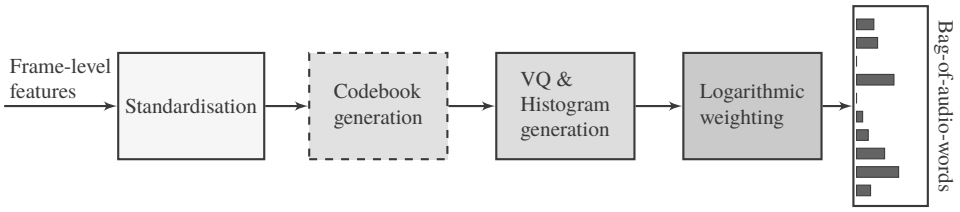


Fig. 1: Bag-of-audio-words processing chain.

words theoretically. This is why in BoAW (and in BoVW), the input is subject to *vector quantisation*. In this step, the Euclidean distance between a given feature vector and all 'audio words' in a given *codebook*, a fixed-size list of meaningful frame-level feature vectors, is computed.

In Figure 1, the main steps of the BoAW computation are shown. As a first step, all frame-level features are *standardised* in an *on-line* approach. This preprocessing step is important if features of different ranges are combined in one BoAW, as features of a high dynamic range would have a larger impact on the BoAW computation without standardisation. The codebooks are generated simply by a *random sampling* of the frame-level features in the respective training set. This method has proven to compete with *k-means clustering* in a BoAW framework [Ra13]. However, we employed the initialisation step of *k-means++ clustering* [AV07], which results in a more 'balanced' random selection of audio words in the input feature space. As a final step, the logarithm is taken from the term frequencies, to reduce their dynamic range. For the whole processing chain displayed in Figure 1, we use our open-source crossmodal bag-of-words toolkit openXBOW [SS16].

3.4 Classifier

The functionals or BoAW representation of the frame-level features is finally fed into a *support vector machine* (SVM) classifier, originally introduced by Cortes and Vapnik [CV95] in 1995. This method is based on the principle of finding an optimum hyperplane in a multidimensional feature space that separates all data samples into the given classes. This hyperplane is optimised in a way that it has a maximum distance to the samples closest to the hyperplane ('support vectors'). The feature space of the samples can implicitly be transformed to a higher dimensional space using *kernels*, however, given the high dimensionality of the employed feature vectors, this step is usually not providing any benefit. Thus, the so-called *linear kernel* is used, where a fast implementation exists with the toolkit LIBLINEAR [Fa08]. We use the *1-vs-all* multi-class scheme with an *L2-regularized L2-loss support vector classification (primal)* solver and a *bias* of 1.

One important parameter to be optimised in the context of SVM is the *complexity*. With this parameter, a certain amount of 'error' can be allowed during optimisation of the hyperplane, which effects that the orientation of the hyperplane is not influenced too much by outliers in the training data and thus prevents overfitting if selected carefully. We optimise the complexity parameter in the range $[10^{-6}, 10^{-5}, ..., 1]$ using 2-fold cross-validation on the training partition, as described in the following section.

Standardisation of features, i. e., the linear transformation of each single feature to zero mean and unit standard deviation over the whole data set, is a common step prior to classification. This step usually helps both to increase the accuracy of the classifier and to reduce the computational complexity of its optimisation. Standardisation can be done either in an *off-line* or in an *on-line* manner. In the first case, the parameters (mean and standard deviation) for each feature are estimated from each data partition (training set or test set) independently; in the latter case, the parameters are estimated from the training set only. Due to the large range of the numbers in the functionals of COMPARE, standardisation (either on-line or off-line) is always applied here, while it is not necessary for BoAW.

4 Experiments and results

With the proposed approaches, we ran our evaluations on the dataset introduced in Section 2. All experiments were conducted directly as a classification problem of all 11 classes. This is aligned with the "experiment 4" in the work by Stein et al. [St10b]. The experiment splits up into 4 different parts, where each part is an evaluation conducted on another subset of the IDMT-SMT-AUDIO-EFFECTS dataset. They are summarised in Table 3. On each part of the dataset, experiments can be conducted with two permutations, where one subset is used for training (Train) and the other for evaluation (Eval). For this reason, the experiments are abbreviated by a *letter*, followed by an *index* for the permutation.

In order to prevent *overfitting* and to obtain reliable results, we optimise the complexity of the SVM on a reasonable split of the respective training set. For the experiments A and B, the split is made based on the instrument configuration mentioned in the dataset description,

Name	**Acronym** [St10b]	**Train**	**Eval**
A1	BS-MO	Yamaha BB604	Warwick Corvette
A2		Warwick Corvette	Yamaha BB604
B1	GIT-MO	Schecter Diamond	Chester Strat.
B2		Chester Strat.	Schecter Diamond
C1	BS-GIT	Yamaha BB604 + Warwick Corvette	Schecter Diamond + Chester Strat.
C2		Schecter Diamond + Chester Strat.	Yamaha BB604 + Warwick Corvette
D1	GIT-MP	Schecter + Chester (monophonic)	Schecter + Chester (polyphonic)
D2		Schecter + Chester (polyphonic)	Schecter + Chester (monophonic)

Tab. 3: Overview over the experiments.

for the experiments C and D, each part of the split consist of all samples of one instrument. Results are reported only on the respective evaluation (Eval) partition. This is aligned with the evaluation using "contextual information" by Stein et al. [St10b]. The performance is given in terms of the *unweighted average recall (UAR)*, which is equal to the *accuracy*, as the 11 classes are balanced in all subsets.

Generally, the experiments C and D are the most challenging, because different effect settings were used for bass and guitar, and effects may have a completely different impact on monophonic and polyphonic sounds, especially, effects adding harmonics, such as *overdrive* and *distortion*. Furthermore, the impact of the missing segmentation of the sample might be larger in the polyphonic case.

Feature type	**A1**	**A2**	**B1**	**B2**	**C1**	**C2**	**D1**	**D2**
ALL	72.5	**77.0**	**89.3**	94.8	**61.5**	**56.5**	9.1	**13.6**
ALL, no deltas	67.5	70.9	86.3	90.5	56.0	52.4	**9.4**	12.2
ALL, only deltas	**73.5**	74.5	87.9	**95.3**	60.3	55.7	9.1	12.9

Tab. 4: UAR [%] based on ComParE + Functionals, **on-line** standardisation.

Table 4 shows the performance of the effect recognition using the functionals-based representation of the ComParE feature set, with *on-line* standardisation. Results are shown for the fusion of all feature types, with an additional report of the UARs for a feature set using either not or only the delta coefficients. While the accuracies for the experiments A-C are satisfactory, the results for experiment D (monophonic vs polyphonic) are very poor and almost on chance level. We supposed, that the reason for this is the employed on-line standardisation, which is not able to tackle systematic differences in the range of features between training and evaluation set. E. g., it is obvious that polyphonic samples will have a higher mean energy than monophonic samples. Off-line standardisation makes indeed sense for functionals-based feature sets as the features are directly related to feature values while it is not relevant for BoAW features, as the magnitude of the 'bag' is not depending on the magnitude of the frame-level features. However, off-line standardisation always

requires a large 'in-domain' set (in our case the evaluation set), where the parameters (mean and standard deviation) are tuned on. So, it is not really robust, as it always requires the knowledge of the domain (e. g., polyphonic guitar recordings) a data sample has been taken from.

Corresponding results with off-line standardisation are shown in Table 5. It is obvious that the results for all experiments are clearly better when using off-line standardisation. Detailed accuracies for all 10 feature types are provided. For lack of space, we do not give detailed results on the performance of coefficients and deltas for each feature type. However, the qualitative overall (ALL) finding that the delta coefficients are more meaningful for experiments C and D goes also for the single feature types.

Feature type	**A1**	**A2**	**B1**	**B2**	**C1**	**C2**	**D1**	**D2**
RMS energy	64.2	62.8	76.1	77.0	57.4	44.4	25.5	36.5
Zero-crossing rate	30.5	30.8	34.5	38.9	29.8	24.3	1.6	11.3
Spectral features	75.7	73.4	92.0	93.3	**73.1**	54.9	40.9	45.4
Auditory spectrum	71.2	66.2	85.6	87.7	57.3	56.1	66.0	36.5
MFCCs 1-14	52.5	50.8	65.8	67.7	37.2	40.0	31.2	25.4
F0	32.4	33.8	55.1	55.1	33.0	27.8	15.3	21.9
logHNR	52.1	51.0	63.1	62.7	42.3	28.3	13.7	11.3
Voicing probability	43.4	43.0	63.1	63.7	42.7	34.6	18.1	30.2
Jitter (local + DDP)	35.4	32.9	57.8	54.2	30.2	20.1	12.3	15.8
Shimmer (local)	46.7	43.1	63.3	62.3	36.7	31.9	15.9	16.0
ALL	**83.3**	**82.0**	**96.7**	**97.8**	70.5	**63.7**	59.8	50.7
ALL, no deltas	79.4	78.0	95.1	96.7	68.7	58.4	56.4	46.0
ALL, only deltas	79.5	78.3	94.9	96.3	71.9	63.2	**63.5**	**51.1**

Tab. 5: UAR [%] based on ComParE + Functionals, **off-line** standardisation.

Next, the functionals are compared to BoAW representations. The *codebook size* is a key parameter during the tuning process. We realised that the results get better when the codebook size is increased, also if the size of the resulting BoAW vectors is much larger than that of the default ComParE feature set with functionals. Making a fair comparison of features and BoAW is a challenging task. On the one hand, audio words are randomly selected, and so the need of a larger word space is well-founded; on the other hand, classification in a larger feature space is usually easier, and also the feature space of functionals could be easily augmented, with the risk of overfitting. However, BoAW can be scaled easily using larger codebook sizes, whereas further functionals must be manually defined. Firstly, in Table 6, the classification results with BoAW are presented for experiment B. The mean value over the two permutations is shown for all feature types and a fusion of all features. For the fusion of all feature types, the bags derived for each feature type are fused and not the frame-level features. This early fusion approach is provided directly by openXBOW. The codebook size for each feature type is either the same as the dimensionality of functionals (x1), twice (x2), or four times (x4) this size.

Feature types	**BoAW** CS factor			**BoAW, no deltas** CS factor			**BoAW, only deltas** CS factor		
	x1	x2	x4	x1	x2	x4	x1	x2	x4
RMS energy	59.5	62.1	62.9	34.8	34.2	33.5	50.9	51.6	51.6
Zero-crossing rate	33.1	32.8	33.5	27.7	27.7	27.7	26.5	27.2	27.1
Spectral features	58.2	59.0	61.6	41.8	41.7	43.7	61.9	63.6	67.9
Auditory spectrum	53.7	56.9	58.1	42.4	45.2	48.1	51.8	54.3	56.7
MFCCs 1-14	48.5	50.7	51.8	34.3	34.4	35.1	50.3	52.2	53.8
F0	23.3	26.9	29.9	21.0	24.5	25.8	19.4	34.4	38.1
logHNR	50.8	56.9	60.5	36.3	37.4	37.2	45.2	52.7	53.6
Voicing probability	43.4	48.5	50.9	30.3	29.9	29.0	39.2	46.1	48.0
Jitter (local + DDP)	28.7	28.6	33.0	34.4	37.3	39.3	12.9	21.5	29.4
Shimmer (local)	45.2	48.7	50.5	34.9	35.2	35.1	37.6	40.2	40.3
ALL	83.8	86.2	87.9	70.5	72.0	75.6	85.9	90.5	**90.8**

Tab. 6: UAR [%] based on ComParE + BoAW, detailed results for experiment B (average of B1 & B2). Codebooks sizes (CS) are always a multiple (with given factor) of the dimensionality of functionals displayed in Table 2.

We provide the results for all 4 experiments with an optimised setting in Table 7. As before, the frame-level features are split into their feature types prior to BoAW generation and then fused into one feature vector for SVM training. Results with a codebook size of 2 000 for each feature type are given, which provides even better results. On average, BoAW outperform functionals with on-line standardisation, but not with off-line standardisation.

Feature type	**A1**	**A2**	**B1**	**B2**	**C1**	**C2**	**D1**	**D2**
ALL	72.0	69.4	87.2	88.0	64.9	55.1	41.1	45.7
ALL, no deltas	64.0	58.9	73.6	76.8	49.4	41.8	22.4	40.1
ALL, only deltas	**76.5**	**72.4**	**90.9**	**92.8**	**67.7**	**58.2**	**35.8**	**62.1**

Tab. 7: UAR [%] based on ComParE + BoAW with a codebook size of 2 000 for each feature type.

Finally, we present the class-specific recall for each feature type in Table 8. To demonstrate this, the average performance of experiments B1 and B2 for the functionals-based approach with off-line standardisation was selected, as this has proven the best overall performance.

5 Discussion

In our best proposed approach, the full ComParE feature set with functionals and off-line standardisation, the results partially compete with those reported by Stein et al. [St10b], shown in Table 9. While the results for the guitar-only experiments (B) are slightly surpassed, they are slightly lower for experiment A, but meaningfully lower for experiments C and D. The reason for this comparably worse performance might be their cutting of the *attack* parts, which are known to be influenced by the instrument type and sound to a large extent, while this is less the case for the *sustain* part.

Feature type	Effect types										
	Chorus	Distortion	FeedbackDelay	Flanger	NoFX	Overdrive	Phaser	Reverb	SlapbackDelay	Tremolo	Vibrato
RMS energy	50.3	97.8	75.9	72.1	84.7	95.6	46.4	83.5	71.6	98.0	66.2
ZCR	10.0	96.6	15.0	29.8	32.7	80.2	19.9	24.9	11.5	58.5	24.4
Spectral feat.	80.7	99.3	98.0	89.2	94.1	95.2	79.3	98.8	96.0	99.4	88.9
Auditory sp.	78.4	100	86.9	86.8	90.3	93.9	63.3	92.4	83.8	98.3	79.5
MFCCs 1-14	54.9	98.6	75.6	75.2	55.7	81.8	74.3	67.1	45.1	49.3	57.1
F0	48.9	63.0	57.3	59.9	51.0	62.8	33.9	55.9	48.3	32.8	92.4
logHNR	53.3	85.3	75.6	57.5	62.1	79.9	38.0	73.8	52.4	64.4	49.5
Voicing prob.	40.5	90.8	86.5	33.2	58.9	67.4	43.2	86.4	88.9	45.8	55.8
Jitter	30.1	63.8	82.1	62.9	26.0	53.9	36.3	91.7	55.6	37.9	75.7
Shimmer	35.8	83.9	64.9	55.7	61.1	55.9	36.4	90.4	51.1	92.8	62.5
ALL	95.6	100	98.9	96.9	94.8	97.1	91.8	99.6	96.5	100	98.8

Tab. 8: UAR [%] per effect class based on ComParE + BoAW, mean over both permutations of experiment B (guitar) is shown.

Experiment	Acronym, see Table 3	UAR [%]
A1 & A2	BS-MO	84.5
B1 & B2	GIT-MO	95.7
C1 & C2	BS-GIT	76.0
D1 & D2	GIT-MP	63.3

Tab. 9: Reference results by [St10b] with optimum feature set in terms of UAR [%]. The average over both permutations 1 & 2 is shown.

Overall, the *zero-crossing rate* is the least useful feature in most cases, whereas the *spectral features* provide best results throughout the experiments. However, the optimum performance is usually achieved when using the fusion of all features. Interestingly, better results are obtained in some cases, when considering only the delta coefficients of the features. This applies to the experiments C and D when using functionals with off-line standardisation and always when using BoAW. Based on our findings, the only advantage of BoAW is that they can be used in an on-line manner, i. e., standardisation of the frame-level features can be done using the parameters derived during training, while there is no need for standardisation of the final 'bags'. Also off-line standardisation of the frame-level features was tried in this context, but the results were slightly lower.

It seems to be the general case that the deltas are more meaningful than the actual coefficients, which indicates that the audio effects manifest in the short-term evolution of the signal rather than in its static properties. This motivates also the investigation, if the deltas of the delta coefficients (*double deltas* or *acceleration* coefficients) imply meaningful information

on the present audio effects. Furthermore, a *hierarchical* approach as investigated by Stein et al. [St10b] might be worth further consideration.

Table 8 shows that recognition of the effects *Distortion* and *Tremolo* works best in experiment B, while the detection of *Phaser* is the worst. These findings are also valid for the other experiments and for the BoAW approach. It might be surprising that even the discrimination between even closely related effects, such as *Chorus* and *Flanger*, works with a low level of confusion.

Finally, two major limitations are addressed, which could raise troubles when applying the proposed recognition system to real music recordings. Firstly, the dataset has been generated with only a single digital audio workstation. In real music recordings, however, the employed effects processors will be different ones which usually do not employ the same algorithm or circuit for processing. Secondly, detection of the *delay* effects worked well in our experiments. However, in a dataset of only single notes, this task is relatively easy, as the delay effects are the only ones resulting in two distinct attacks. In a real-life database of continuous recordings, it would be much more difficult to discriminate between a delay effect and a repeated note.

6 Conclusion and outlook

We have seen that, given the high accuracy for the experiments with only guitar, the problem of recognition of effects in a single-instrument track can almost be considered solved. We have given some insights into the usefulness of certain acoustic feature types for the task and seen that the delta coefficients are often more meaningful than the actual coefficients. The bag-of-audio-words approach is a meaningful alternative to using functionals, especially when the standardisation cannot be done off-line. A reasonable fusion of classifiers specialised on specific audio effects groups will further improve the accuracy. The polyphonic recognition might be tackled by using corresponding training data.

Future work must further investigate how well a recogniser performs on data generated by different digital audio workstations or effects processors. From the methodological side, *multi-task learning* seems suitable for the task at hand [Zh16]. As in the field of speech recognition, where the knowledge of age and gender is useful for the training process, it will be beneficial, to have access to side information, in order to learn intrinsic dependencies within the data. This side information is – in the case of the database at hand – the played note, the played string, and the plucking style.

Acknowledgements



The research leading to these results has received funding from the European Union's Seventh Framework and Horizon 2020 Programmes through Grant Agreements No. 338164 (ERC StG iHEARu) and No. 645094 (IA SEWA).

References

[Ab17] Abeßer, J.; Frieler, K.; Cano, E.; Pfleiderer, M.; Zaddach, W.-G.: Score-informed analysis of tuning, intonation, pitch modulation, and dynamics in jazz solos. IEEE/ACM Transactions on Audio, Speech, and Language Processing, 25(1):168–177, 2017.

[AV07] Arthur, D.; Vassilvitskii, S.: k-means++: The advantages of careful seeding. In: Proceedings of the 18th annual ACM-SIAM symposium on Discrete Algorithms. SIAM, New Orleans, USA, pp. 1027–1035, 2007.

[Be13] Benetos, E.; Dixon, S.; H., D. Giannoulis; Kirchhoff; Klapuri, A.: Automatic music transcription: challenges and future directions. Journal of Intelligent Information Systems, 41(3):407–434, 2013.

[CV95] Cortes, C.; Vapnik, V.: Support-vector networks. Machine learning, 20(3):273–297, 1995.

[Di12] Dittmar, Christian; Cano, Estefanía; Abeßer, Jakob; Grollmisch, Sascha: Music information retrieval meets music education. In: Proceedings of Dagstuhl Follow-Ups. volume 3, Schloss Dagstuhl – Leibniz-Zentrum für Informatik, Germany, 2012.

[Ey13] Eyben, F.; Weninger, F.; Groß, F.; Schuller, B.: Recent developments in openSMILE, the Munich open-source multimedia feature extractor. In: Proceedings of the 21st ACM International Conference on Multimedia (ACM MM). Barcelona, Spain, pp. 835–838, 2013.

[Ey15] Eyben, F.: Real-time speech and music classification by large audio feature space extraction. Springer International Publishing, 2015.

[Fa08] Fan, R.-E.; Chang, K.-W.; Hsieh, C.-J.; Wang, X.-R.; Lin, C.-J.: LIBLINEAR: A library for large linear classification. The Journal of Machine Learning Research, 9:1871–1874, 2008.

[GPF15] Grzeszick, R.; Plinge, A.; Fink, G. A.: Temporal acoustic words for online acoustic event detection. In: Proceedings of the 37th German Conference on Pattern Recognition (GCPR). Springer, Aachen, Germany, pp. 142–153, 2015.

[GSR13] Geiger, J. T.; Schuller, B.; Rigoll, G.: Large-scale audio feature extraction and SVM for acoustic scene classification. In: Proceedings of the 2013 IEEE Workshop on Applications of Signal Processing to Audio and Acoustics. IEEE, New Paltz, USA, pp. 1–4, 2013.

[Ke14] Kehling, C.; Abeßer, J.; Dittmar, C.; Schuller, G.: Automatic tablature transcription of electric guitar recordings by estimation of score-and instrument-related parameters. In: Proceedings of DAFx. Erlangen, Germany, pp. 219–226, 2014.

[KV09] Klapuri, A.; Virtanen, T.: Automatic music transcription. Springer, 2009.

[PA12] Pancoast, S.; Akbacak, M.: Bag-of-audio-words approach for multimedia event classification. In: Proceedings of INTERSPEECH. ISCA, Portland, USA, pp. 2105–2108, 2012.

[Po15] Pokorny, F.; Graf, F.; Pernkopf, F.; Schuller, B.: Detection of negative emotions in speech signals using bags-of-audio-words. In: Proceedings of the 1st International Workshop on Automatic Sentiment Analysis in the Wild (WASA 2015) held in conjunction with ACII 2015. AAAC, IEEE, Xi'an, China, pp. 879–884, 2015.

[Ra13] Rawat, S.; Schulam, P. F.; Burger, S.; Ding, D.; Wang, Y.; Metze, F.: Robust audio-codebooks for large-scale event detection in consumer videos. In: Proceedings of INTERSPEECH. ISCA, Lyon, France, pp. 2929–2933, 2013.

[RHG08] Riley, M.; Heinen, E.; Ghosh, J.: A text retrieval approach to content-based audio hashing. In: Proceedings of ISMIR. Philadelphia, USA, pp. 295–300, 2008.

[Sc13] Schuller, B.; Steidl, S.; Batliner, A.; Vinciarelli, A.; Scherer, K.; Ringeval, F.; Chetouani, M.; Weninger, F.; Eyben, F.; Marchi, E.; Mortillaro, M.; Salamin, H.; Polychroniou, A.; Valente, F.; Kim, S.: The INTERSPEECH 2013 computational paralinguistics challenge: social signals, conflict, emotion, autism. In: Proceedings of INTERSPEECH. ISCA, Lyon, France, pp. 148–152, 2013.

[Sc16] Schmitt, M.; Janott, C.; Pandit, V.; Qian, K.; Heiser, C.; Hemmert, W.; Schuller, B.: A bag-of-audio-words approach for snore sounds' excitation localisation. In: Proceedings of ITG Speech Communication. Paderborn, Germany, pp. 230–234, 2016.

[SDP12] Song, Y.; Dixon, S.; Pearce, M.: A survey of music recommendation systems and future perspectives. In: Proceedings of the 9th International Symposium on Computer Music Modeling and Retrieval. London, U. K., 2012.

[SRS16] Schmitt, M.; Ringeval, F.; Schuller, B.: At the border of acoustics and linguistics: bag-of-audio-words for the recognition of emotions in speech. In: Proceedings of INTERSPEECH. ISCA, San Francisco, USA, pp. 495–499, 2016.

[SS16] Schmitt, M.; Schuller, B. W.: openXBOW – Introducing the Passau open-source crossmodal bag-of-words toolkit. preprint arXiv:1605.06778, 2016.

[SSB09] Schuller, B.; Steidl, S.; Batliner, A.: The Interspeech 2009 emotion challenge. In: Proceedings of INTERSPEECH. ISCA, Brighton, U. K., pp. 312–315, 2009.

[St10a] Stein, M.: Automatic detection of multiple, cascaded audio effects in guitar recordings. In: Proceedings of the 13th International Conference on Digital Audio Effects (DAFx). Graz, Austria, pp. 4–7, 2010.

[St10b] Stein, M.; Abeßer, J.; Dittmar, C.; Schuller, G.: Automatic detection of audio effects in guitar and bass recordings. In: Proceedings of the AES 128th Convention. Audio Engineering Society, San Francisco, USA, 2010.

[We13] Weninger, F.; Eyben, F.; Schuller, B. W.; Mortillaro, M.; Scherer, K. R.: On the acoustics of emotion in audio: what speech, music and sound have in common. Frontiers in Psychology, section Emotion Science, Special Issue on Expression of emotion in music and vocal communication, 4(Article ID 292):1–12, 2013.

[YSY13] Yeh, C.-C. M.; Su, L.; Yang, Y.-H.: Dual-layer bag-of-frames model for music genre classification. In: Proceedings of ICASSP. IEEE, Vancouver, Canada, pp. 246–250, 2013.

[Zh16] Zhang, Y.; Weninger, F.; Ren, Z.; Schuller, B.: Sincerity and deception in speech: two sides of the same coin? A transfer- and multi-task learning perspective. In: Proceedings of INTERSPEECH. ISCA, San Francisco, USA, pp. 2041–2045, 2016.

[Zö11] Zölzer, U.: DAFX: Digital Audio Effects. John Wiley & Sons, 2011.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 191

Audioschnitt in digitalen Noten

Simon Waloschek[1]

Abstract: Trotz der inzwischen vollständig digitalen Aufnahme und Nachbearbeitung von Musik wird speziell bei Produktionen klassischer Musik in der Regel zusätzlich mit gedruckten Notenmaterialien gearbeitet. Dieser Bruch in der Medienverwendung führt bei der Nachbearbeitung des Audiomaterials zu Zeitverlusten, da stetig zwischen Computerbildschirm und Papiernoten gewechselt werden muss. Es wurde ein Lösungsansatz entwickelt, der diesen Medienbruch umgeht. Aufgenommenes Audiomaterial und die Darstellung digitaler Noten auf dem Computer werden dabei synchronisiert. In der Praxis wird dadurch die Navigation innerhalb der Aufnahmeprojekte effektiv beschleunigt. Eine Vorstudie konnte zeigen, dass die Zeit für das Auffinden von Audio-Positionen anhand von Noteneintragungen – eine während des Schnitts häufig wiederkehrende Aufgabe – um durchschnittlich 79% gesenkt wurde.

Keywords: Interaktive Partituren, Musikproduktion, Audio to Score Alignment.

1 Einleitung

Die Produktion klassischer Musik wird heutzutage weitestgehend digital durchgeführt. Sämtliche Produktionsschritte – von der Aufnahme über die Nachbearbeitung bis hin zur Erstellung des Abspielmediums – nutzen Computer als Hilfs- und Arbeitswerkzeug. Basis dieser Musik ist jedoch weiterhin gedruckter Notentext, der sowohl Musikern[2] als auch ausführenden Produzenten bzw. Tonmeistern als Interpretations- und Kommunikationsgrundlage dient. Trotz der voranschreitenden Verbreitung von Tablet-Computern und mobilen Endgeräten mit adäquaten Bildschirmgrößen, haben sich diese bislang nicht als modernes Pendant klassischer Partituren etablieren können.

Besonders im digitalen Nachbearbeitungsprozess innerhalb der Musikproduktion haben sich im Kontrast zu Partituren Darstellungsweisen behauptet, die keinen direkten Bezug zum Notentext haben. Der Fokus liegt hier stark auf den akustisch-physikalischen Eigenschaften des Audiomaterials und erfordert daher zum effizienten Arbeiten ein gewisses Maß an Erfahrung. Viele Kommentare und Informationen, die für die Nachbearbeitung essentiell sind, werden jedoch während der Aufnahme weiterhin handschriftlich im Notentext eingetragen, sodass letztendlich beide Darstellungen der Musik für die Bearbeitung genutzt werden (siehe Abbildung 1).

[1] Hochschule für Musik Detmold, Center of Music and Film Informatics, Hornsche Str. 44, 32756 Detmold, s.waloschek@cemfi.de

[2] In diesem Paper wird aus Gründen der leichteren Lesbarkeit auf das konsequente Gendern verzichtet. Im Zweifel sind jeweils sowohl die weibliche als auch die männliche Form gemeint.

doi:10.18420/in2017_13

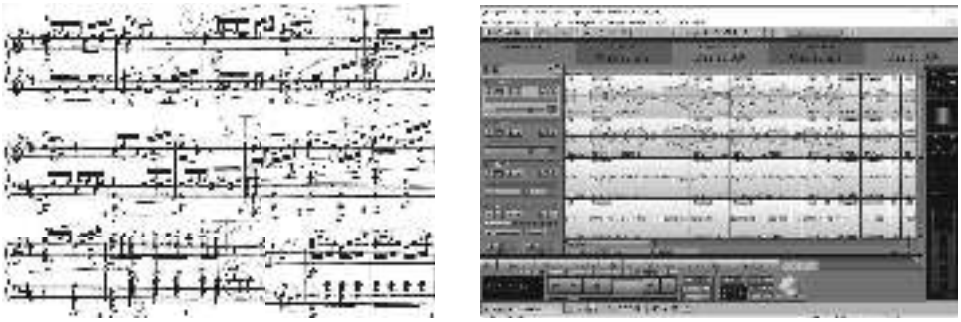


Abb. 1: Beispielhafte Annotationen eines Tonmeisters im Notentext (**links**) gegenüber der Wellenformdarstellung des aufgezeichneten Audiomaterials in einem Audiobearbeitungsprogramm (**rechts**).

Dieser Medienbruch kostet im Arbeitsprozess viel Zeit, da häufig zwischen den Ansichten gewechselt werden muss, ohne dass diese in irgendeiner Weise miteinander verknüpft sind. Im Rahmen dieser Forschungsarbeit wird daher evaluiert, ob die Nutzung interaktiver Partituren die Nachbearbeitung beschleunigen kann. Hauptaugenmerk liegt auf der Zusammenführung der in Audioprogrammen gängigen Darstellungsweisen einerseits und digitalem Notentext andererseits, um so die Navigation innerhalb des aufgenommenen Audiomaterials zu erleichtern.

2 Produktion klassischer Musik

Dieser Abschnitt gibt einen einführenden Überblick über den Entstehungsprozess von Instrumental- und Gesangsaufnahmen mit dem Ziel, die Rolle von Noten in der Produktion klassischer Musik einzuordnen und ihre Relevanz hervorzuheben.

Vergleichende Literatur [Ea06, Mo92] unterteilt Musikproduktionen stets in drei große Phasen: *Vorbereitung*, *Aufnahme* und *Nachbearbeitung*. Jede dieser Phasen hat unterschiedliche Ansprüche an die genutzten Programme, den Notentext sowie die Arbeitsumgebung. Häufig situations- und projektabhängig angepasst, sind die nachfolgend beleuchteten Schritte einer Klassikproduktion nicht als starres Konstrukt zu verstehen. Wirtschaftliche Betrachtungen werden außen vor gelassen.

2.1 Vorbereitung

Ziel der Vorbereitung ist vorrangig die Erstellung eines Produktionsplanes in Übereinstimmung mit dem künstlerischen Leiter bzw. Dirigenten. Aus Sicht des Aufnahmeleiters bzw. Tonmeisters bedeutet dies vor allem die Auseinandersetzung mit dem aufzunehmenden Werk. Potentiell für die Musizierenden herausfordernde Passagen werden identifiziert und ein Aufnahmeplan erstellt mit dem Ziel, die zur Verfügung stehende Aufnahmezeit

möglichst optimal ausnutzten sollte. Bereits in dieser Phase wurden erste Anmerkungen in die Noten eingetragen, wie z.B. mögliche Stellen für nachträgliche Schnitte.

2.2 Aufnahme

Während der Aufnahme kommuniziert der Tonmeister entweder direkt mit allen Musikern oder mit dem musikalischen Leiter bzw. Dirigenten mit dem Ziel, ein sowohl nach technischen als auch musikalisch-ästhetischen Maßstäben befriedigendes Endergebnis zu produzieren. Dies bedeutet in der Regel, dass anspruchsvolle Passagen unter Berücksichtigung der Kritik des Aufnahmeleiters häufiger gespielt und aufgezeichnet werden. Ein Werk muss also nicht zwangsläufig „am Stück“ aufgenommen werden, sondern kann in kürzere Abschnitte (*Takes*) aufgeteilt werden, die schließlich zu einer Gesamtaufnahme zusammengefügt werden.

Die eigentlich Aufnahme geschieht am Computer mithilfe von *Digital Audio Workstations* (DAWs), speziell für den Zweck der Musikproduktion entwickelten Audioeditoren. Aufgenommene Takes werden hier direkt horizontal aneinandergereiht (siehe Abbildung 1, rechts).

Im Laufe der Produktion werden verschiedene Annotationen direkt im Notentext eingetragen. Damit werden zwei unterschiedliche Ziele verfolgt: Zunächst dienen Sie als „Gedächtnisstütze“, um nach dem Ende des gerade aufgezeichneten Takes alle wichtigen Anmerkungen kommunizieren zu können. Nach der Aufnahme dienen diese Annotationen der Orientierung bei der Bearbeitung, da nicht nur take-spezifische musikalische Kommentare verzeichnet werden, sondern auch Schnittpositionen und -anweisungen. Auf diese Art kann bei konsequenter Arbeitsweise parallel zum Aufnahmeprozess bereits ein vorläufiger *Schnittplan* erstellt werden, aus dem ersichtlich ist, welche Takes aneinandergeschnitten werden sollen.

Einzelne Passagen werden häufig mehrfach gespielt, wodurch die Fülle an Einzeichnungen zunimmt. Dies erschwert den Überblick und macht eine nachträgliche Zuordnung einzelner Annotationen zu spezifischen Takes zusehends schwieriger. Zusätzlich zu den Annotationen wird häufig parallel eine *Take-Liste* geführt, die für jeden Take die gespielten Takte verzeichnet.

2.3 Nachbearbeitung

Ist das Werk vollständig aufgenommen, folgen der Zusammenschnitt der aufgenommenen Passagen zu einer Gesamtaufnahme und die klangliche Optimierung, in der Vergleichsliteratur auch *Post-processing* genannt [Ea06].

Der Schnitt gliedert sich in in zwei Teilaufgaben. Zunächst werden im gesammelten Audiomaterial die Teile herausgesucht, die für das Endergebnis genutzt werden sollen. Im Idealfall unterstützen die entsprechenden Annotationen im Notentext sowie ein bereits

während der Aufnahme angefertigter Schnittplan diesen Suchprozess. Die selektierten Teile müssen dann „nach Gehör“ derart aneinandergeschitten werden, dass nicht mehr hörbar ist, dass es sich um unterschiedliche Takes handelt.

Für den eigentlichen Schnittprozess bedient man sich oft einer der beiden folgenden Strategien:

Ersetzungen im Ganztake Hat man einen insgesamt zufriedenstellenden *Ganztake*, also eine ununterbrochene Aufnahme des ganzen Werkes, kann man diesen als Grundlage verwenden und ggf. unzulängliche Passagen durch andere Takes ersetzen. Vorteil dieser Methode ist, dass die Musik ihren sogenannten „Bogen“ nicht verliert, die musikalisch-ästhetische Idee also überwiegend unangetastet bleibt.

Inkrementelles Zusammenschneiden Steht kein adäquater Ganztake zur Verfügung, muss aus den einzelnen Passagen inkrementell eine vollständige Version geschnitten werden. Hierbei muss vermehrt auf Differenzen zwischen den Takes (unterschiedliches Tempo, Lautstärke etc.) geachtet werden, um die Illusion einer durchgängigen Interpretation, die musikalisch plausibel wirkt, zu schaffen.

Beide Schnitt-Strategien haben gemein, dass ein ständiger Wechsel zwischen dem annotierten Notenmaterial und der Wellenformdarstellung in der DAW (siehe Abbildung 1, rechts) nötig ist. Die Entscheidung, welche Takes bzw. welche Teil der Takes aneinandergeschnitten werden sollen, ist oft eine Frage des ständigen Hörvergleichs unter Zuhilfenahme der Noten und der darin verzeichneten Take-Nummern. Sauber geführte Auszeichnung der Start- und Endpositionen der einzelnen Takes in den Noten sind daher eine zeitsparende Hilfe.

Die letzten Schritte in der Produktion von Instrumentalmusik sind das *Mixing* und *Mastering*. Mixing bezeichnet dabei Klanganpassungen und -korrekturen nach dem Schnitt. Das finale Mastering hingegen soll sicherstellen, dass der Gesamtklang nicht nur auf den Lautsprechern des Tonmeisters bzw. Produzenten adäquat reproduziert werden kann, sondern auf einer Vielzahl von unterschiedlichen Lautsprechern, Kopfhörern und sonstigen Endgeräten (z.B. Smartphones) überzeugt. Diese Prozesse sind weitestgehend unabhängig vom Notentext und betrachten lediglich klangliche Aspekte und werden daher an dieser Stelle nicht weiter adressiert.

3 Related Work

Die dieser Forschungsarbeit zugrunde liegende Idee der Synchronisation mehrerer Takes innerhalb einer Aufnahme unter Einbeziehung von Noten haben Dannenberg et al. bereits 2003 skizziert [DH03]. Konkrete Implementierungen wurden jedoch nicht diskutiert, sodass es lediglich bei einem Mock-up geblieben ist (siehe Abbildung 2).

In [MC11a] wird ein ähnliches Konzept verfolgt, jedoch mit einem anderen Synchronisierungsalgorithmus auf Basis von Partikelfiltern [MC11b].

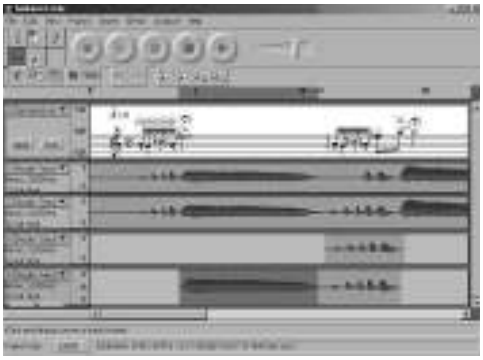


Abb. 2: Mock-up einer DAW mit synchronisierten Takes unterhalb einer Notendarstellung. (Quelle: [DH03, S. 6])

Eine erste praktische Nutzung der Audiosynchronisierung erfolgte 2009 mit der Markteinführung des *Multisynchronschnitts* [HT06] in der Audio-Software *MAGIX Sequoia 11*. Erstmals war es möglich, nach einer Aufnahme die einzelnen Takes vollautomatisch analysieren und synchronisieren zu lassen, um eine Ansicht zu erhalten, in der Takes mit gleichem musikalischen Inhalt untereinander dargestellt wurden. Problematisch war die Analyse jedoch bei Musik mit wiederholenden Passagen oder häufig wiederkehrenden musikalischen Motiven, da hier oft Fehler bei der korrekten Zuordnung aufgetreten sind. Eine nachträgliche manuelle Korrektur nimmt wiederum zusätzlich Zeit in Anspruch. Da eine entsprechende Notendarstellung nicht integriert war, wurde hierdurch allein der direkte Vergleichsprozess zwischen einer Vielzahl von Takes beschleunigt bzw. vereinfacht, nicht jedoch die globale Navigation innerhalb des aufgenommenen Materials.



Abb. 3: Multisynchronschnitt in der Software Sequoia (Quelle: `www.magix-audio.com/de/sequoia/klassikproduktion`, abgerufen am 30.04.2017)

Eine entscheidende Neuerung beim Multisynchronschnitt war die Abstraktion mehrspuriger Aufnahmen zu einer einzelnen Spur (siehe Abbildung 3). Im rechten Teil des Bildes sieht man die gewöhnliche Anordnung in einer DAW, sodass z.B. im „grünen“ Take alle dazugehörigen Spuren untereinander gerendert werden. Nach dem Analyseprozess werden jedoch all diese Spuren als einzelnes Objekt dargestellt und mit den darunter angezeigten Takes synchronisiert. Dafür ist es unter anderem notwendig, die Wellenform optisch zu strecken bzw. stauchen – Die Zeitachse wird so nichtlinear.

4 Interaktive Partituren

Ausgehend von der im vorhergehenden Abschnitt skizzierten Idee der Abstraktion aller Mikrofonspuren eines Takes zu einem einzigen Objekt (Multisynchronschnitt), wurde ein Visualisierungs- und Bedienungskonzept entwickelt. Im Fokus stand die Integration von Noten, die zum aufgenommen Audiomaterial synchronisiert sein sollen. Das Konzept orientiert sich an ersten Überlegungen in [Wa16b, Wa16a].

4.1 Benutzeroberfläche und Visualisierung

Die Software-Arbeitsumgebungen während der Musikproduktion sind das Ergebnis eines über mehrere Jahrzehnte gewachsenen Bedienkonzepts. Grundsätzliche Änderung setzen sich nur schwerlich durch, da die kognitive Hürde bei Inkonsistenzen zu etablierte Bedienungen vergleichsweise hoch ist, wie auch entsprechende Studien gezeigt haben [BWH16, PD10]. Möchte man neue Ideen in diese Arbeitsumgebung einfließen lassen, ist es daher ratsam, sich an den etablierten Elementen zu orientieren. Ein solches wichtiges Element ist die (theoretisch) endlose Zeitachse in DAWs. Auf ihr wird die aufgenommene Musik chronologisch geordnet dargestellt. Ähnliches ist auch bei Noten möglich, sofern man alle Systemumbrüche entfernt und das gesamte Werk bzw. Stück in einem einzigen, langen System zusammenfasst. Von dieser Grundidee ausgehend lassen sich nun inhaltlich parallele Klangereignisse – also Takes, die den gleichen musikalischen Inhalt haben – untereinander darstellen, in etwa wie unterschiedliche Mikrofonspuren eines konkreten Takes in der DAW. Um die Übersicht zu wahren, können mehrspurige Aufnahmen, wie beim Multisynchronschnitt, optisch auf eine einzige Spur reduziert werden. Synchronisiert man nun das Audiomaterial dieser Takes mit dem Notentext, lassen sich die Positionen der Takes in Bezug auf den Notentext ermitteln, siehe Abbildung 4.

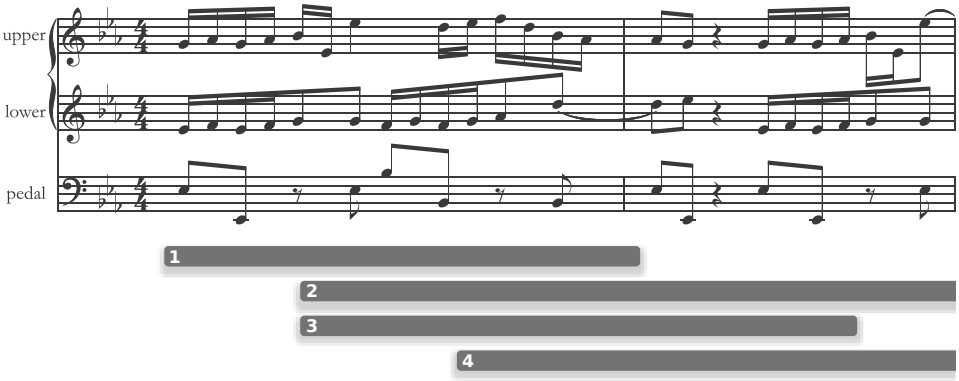


Abb. 4: Konzeptentwurf der Benutzeroberfläche. Dunkle Balken markieren dabei einzelne Takes, die unterhalb der Noten dargestellt werden.

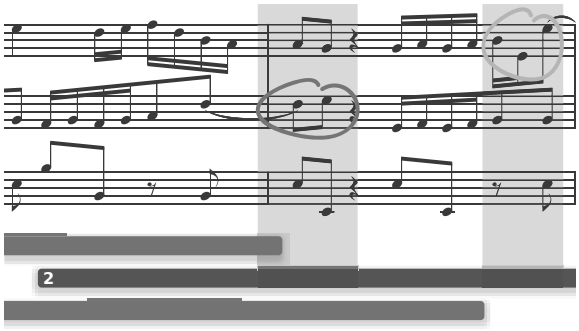


Abb. 5: Annotationen werden direkt im digitalen Notentext angezeigt und ihre Zuordnung zum jeweiligen Take hervorgehoben. Farbbalken signalisieren das Vorhandensein auch ausgeblendeter Einzeichnungen.

Ein Nebeneffekt dieser Darstellungsweise ist der Verlust der Linearität der horizontalen Achse: Dadurch, dass die einzelnen Takes in unterschiedlichen Tempi gespielt sein können, jedoch dank der Abhängigkeit von den Noten mit der gleichen Balkenlänge gerendert werden, kann keine genaue Aussage mehr über die tatsächliche Spieldauer eines Takes gemacht werden.

Während einer Produktion werden vom Tonmeister fortwährend Annotationen in den Notentext eingetragen. Werden lediglich gedruckte Noten verwendet, füllt sich der Notentext im Laufe der Aufnahme zunehmend mit derartigen Kommentaren. Liegen diese Annotationen digital vor, können sie ebenfalls auf dem Bildschirm dargestellt werden. Dies eröffnet die Möglichkeit, gezielt Eintragungen ein- und auszublenden und die Zuordnung zu bestimmten Takes hervorzuheben, siehe Abbildung 5. Kleine Farbmarkierungen direkt oberhalb der Take-Balken signalisieren, ob an der entsprechenden Stelle Anmerkungen vorliegen, die bei Bedarf nach oben „ausgeklappt“ werden können.

Häufig wird bei Eintragungen differenziert, ob sie als positive oder negative Kritik zu verstehen sind. Während der laufenden Produktion verwenden viele Tonmeister intuitiv zusätzliche Symbole wie z.B. „+“ und „–“. Durch die Farbkodierung von Annotationen (z.B. grün für „positiv“ bzw. rot für „negativ“) könnte man diese Differenzierung prägnanter gestalten und auf zusätzliche Symbole verzichten.

4.2 Bedienkonzept

Das vorgestellte Konzept setzt voraus, dass Annotationen digital erfasst werden können. Produkte wie z.B. das *Surface Book* von Microsoft sowie einige Smartphones und Tablets des Herstellers Samsung erlauben die gleichzeitige Bedienung der Geräte mit Touchscreen und entsprechenden Digitizer-Stiften. Somit könnte während der Aufnahme direkt auf dem

Display geschrieben werden. Der Stift des Surface Books besitzt eine Taste, die während des Schreibens mit dem Daumen gedrückt werden kann. Auf diese Weise ist ein schnelles Umschalten zwischen zwei Modi denkbar, sodass einfach und zügig zwischen positiven und negativen Eintragungen unterschieden werden könnte.

Die Bedienung der Oberfläche nutzt zusätzlich zum Stift auch die Mauseingabe bzw. die Touchscreen-Funktionalität des Surface Books: Die Navigation entlang der Zeitachse (scrollen nach links bzw. rechts) kann durch „ziehen“ des Notentextes mit der Maus erfolgen oder aber durch „wischen“ mit dem Finger über den Bildschirm. Ist die gesuchte Stelle im Notentext gefunden, können die darunter platzierten Takes abgespielt werden, indem mit der Maus oder dem Stift auf den gewünschten Take geklickt wird. Solange die Maustaste gedrückt ist oder der Stift nicht abgesetzt wird, wird der gewählte Take ab der Cursor-Position abgespielt. Eine vertikale Linie zeigt die aktuelle Position im Take und in den Noten an und wandert während des Abspielens entsprechend nach rechts mit. Als Orientierungshilfe wird sowohl unter dem Notentext als auch unter den Takes ein Scrollbalken angezeigt, der die momentane Position widerspiegelt.

Ein Problem des Multisynchronschnitts ist die unzuverlässige Synchronisation von Audioaufnahmen bei sich wiederholenden Passagen. Ist der aufgenommene Take nicht eineindeutig einem Abschnitt im Notentext zuordenbar, versagt der Algorithmus der Sequoia DAW oftmals. Um diese Mehrdeutigkeiten aufzulösen bzw. zu verhindern, könnten bei jedem Take während der Aufnahme Beginn und Ende der aktuell gespielten Passage in den digitalen Noten grob markiert werden. Derartige Einzeichnungen hätten als Annotationen für den Tonmeister keinen weiteren Mehrwert und müssten daher nicht sichtbar sein.

4.3 Implementierung

Die praktische Implementierung des Prototypen ist in der Programmiersprache *Python* durchgeführt worden. Nachfolgend werden mehrere externe Tools und Bibliotheken verwendet, um den digitalen Notentext mit Audioaufnahmen zu synchronisieren. Reduziert man dieses Alignment auf rein quantitative Werte, besteht die Aufgabe letztlich darin, Pixelkoordinaten einer Grafik (angezeigte Noten) mit bestimmten Zeitpositionen innerhalb von Audio-Dateien zu verknüpfen. Abbildung 6 fasst die dafür erforderlichen Schritte zusammen und bietet einen einleitenden Überblick.

Da im Folgenden immer wieder auf Abbildung 6 Bezug genommen wird, werden die einzelnen Zwischenstände im Text mit Zahlen wie z.B. „ (3) “ markiert. Diese Zahlen finden sich auch in der Abbildung wieder.

Zunächst stehen die Noten als MEI-kodierte Datei [Ro02] zur Verfügung (1). MEI ist ein XML-basiertes Notenkodierungsformat, das stetig wachsende Verwendung im musikhistorischen Kontext findet und dazu genutzt wird, sowohl gedruckte als auch handgeschriebene Noten zu beschreiben. Der erste Schritt besteht nun in der Generierung

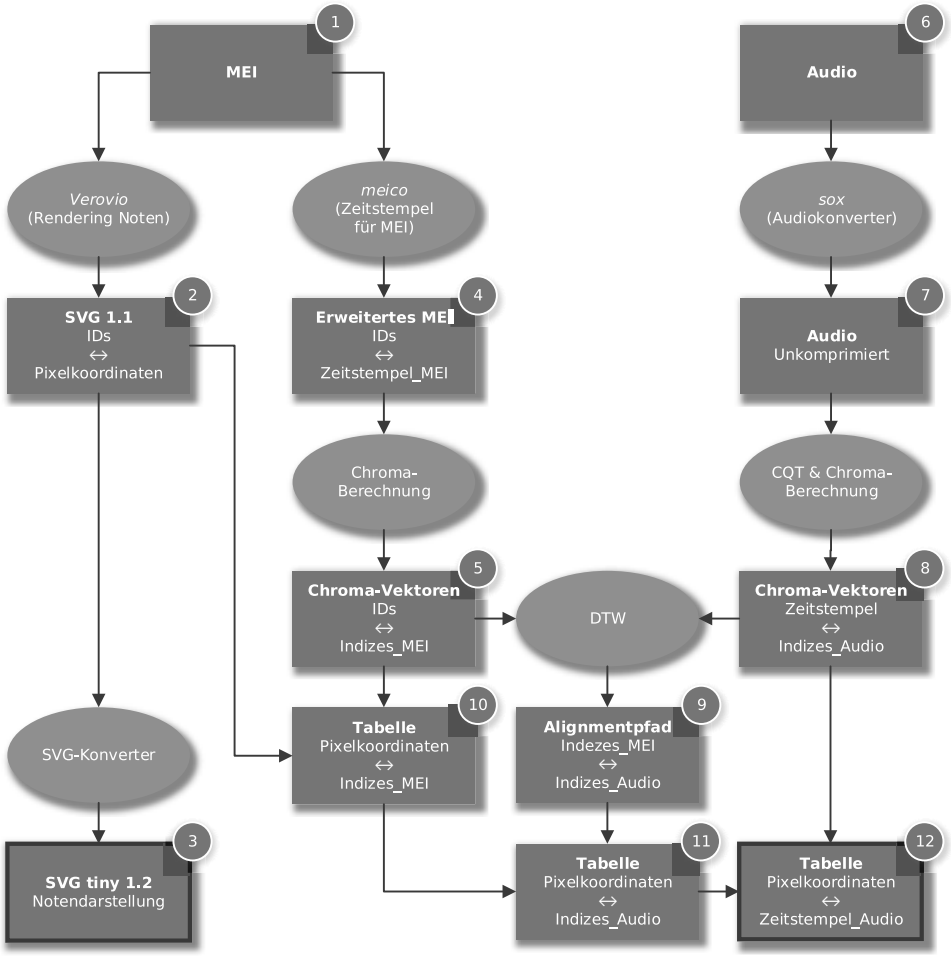


Abb. 6: Zusammenspiel der einzelnen Komponenten zum Synchronisieren von Noten und Audio. In Rechtecken mit „↔“ markierte Kommentare geben an, dass zwischen diesen Daten eine Verknüpfung besteht.

der Notendarstellung. Hierfür wird das Programm *Verovio* [PZR14] genutzt. Dabei handelt es sich um eine Open Source Library, die aus MEI-Dateien Vektorgrafiken im SVG-Format erstellt. Wichtig hierbei zu erwähnen ist, dass alle IDs, die in MEI für Noten, Pausen etc. genutzt werden, ebenfalls in die generierte SVG-Datei übernommen werden. Dies ermöglicht eine Zuordnung jedes gerenderten Objekts zum entsprechenden Element in der MEI-Datei und umgekehrt (2).

Zur tatsächlichen Anzeige der durch Verovio erstellten Vektorgrafiken wird das Framework

Qt verwendet. Qt ist eine plattformübergreifende Bibliothek zur Entwicklung von grafischen Oberflächen für Computer und mobile Systeme. Es verfügt über eine Python-Anbindung und umfangreiche Funktionen zur Darstellung von Pixel- und Vektorgrafiken.

Das Alignment des Notentextes mit den Audioaufnahmen wird mithilfe eines klassischen *Dynamic Time Warping*-Verfahrens (siehe [Mu07]) durchgeführt. Dafür ist es jedoch notwendig, dass für die einzelnen Noten Zeitpunkte definiert sein müssen. Für das MEI-Format ergibt sich an dieser Stelle das Problem, dass MEI keine Interpretation definiert und daher keine absoluten Zeiten für die einzelnen Noten verfügbar sind. Abhilfe schafft an dieser Stelle das Programm *meico*[3]. Der Hauptzweck von meico ist die Generierung abspielbarer MIDI-Dateien aus MEI-Kodierungen. Als „Nebenprodukt“ kann hierbei jedoch auch eine MEI-Datei ausgegeben werden, die den einzelnen Noten und Pausen der Originalkodierung die für MIDI kalkulierten Zeitstempel anfügt. Wie auch Verovio, achtet meico dabei auf eine persistente Nutzung der originalen IDs aller Elemente. So ist schließlich der Bezug zwischen Noten und ihrem jeweiligen Spielzeitpunkt hergestellt (4).

Vor der Berechnung des Alignments muss ggf. das Audiomaterial dekodiert werden, da Audiodateien in verschiedenen Formaten (z.B. *MP3*, *FLAC*) mit unterschiedlichen Abtast- und Bit-Raten vorliegen können. Daher wird bei der Implementierung der Konverter *sox* [4] verwendet. Beim Laden der Audiodateien wird durch ihn automatisch jegliches Material dekodiert, im Bedarfsfall auf die bei CDs übliche Rate von 44 100 Hz neu abgetastet und als unkomprimierte WAVE-Dateien temporär gespeichert (7). Die tatsächliche Berechnung des Alignment-Pfads kann mit der Python-Library *librosa* [Mc15] durchgeführt werden.

Der resultierende Pfad bildet Zeitpunkte innerhalb der Audiodatei auf Noten in der MEI-Kodierung ab (9). An dieser Stelle wird die Kenntnis der Pixelkoordinaten der einzelnen MEI-IDs (2) genutzt und so die Zuordnung von Koordinaten zu MEI-Noten (10) gebildet. Mithilfe des gerade berechneten Alignmentpfads lässt sich nun von Pixelkoordinaten der Notendarstellung auf die zeitliche Position der Audio-Dateien (12) schließen.

5 Evaluation

Im Anschluss an die Implementierung der neuen Navigationsoberfläche sollte diese getestet werden. Interessant war vor allem die Frage, ob das neue Konzept eine schnellere Navigation in einer Aufnahme mit mehreren Takes zulassen würde, als es mit herkömmlichen DAWs möglich ist. Hierzu wurde ein Test konzipiert, der aufzeigen sollte, wie schnell bestimmte Positionen in Takes aufgefunden und abgespielt werden können, wenn die äquivalente Position in den Noten bereits bekannt ist.

[3] `https://github.com/cemfi/meico/`, abgerufen am 10.02.2017
[4] `http://sox.sourceforge.net/`, abgerufen am 14.05.2017

5.1 Testdesign und Durchführung

Die Probanden des Tests sollten sowohl in einer DAW als auch im Prototypen Stellen im Audiomaterial finden, an denen künstlich ein Signalton eingewoben wurde. Die Positionen der Töne wurden durch entsprechende Markierungen im Notentext kenntlich gemacht.

Zum direkten Vergleichen der entwickelten Software mit modernen DAWs, wurde eine Aufnahme mit mehreren Takes benötigt. Es wurde das Präludium in Es-Dur aus dem *Wohltemperierten Klavier II* von Johann Sebastian Bach (BWV 876) vom Autor selbst eingespielt. Als Resultat lag eine Aufnahme in 23 Takes vor, die zum Teil absichtlich mit tonalen Fehlern gespickt waren, um zusätzlich die Robustheit des Alignment-Algorithmus' zu demonstrieren.

Nach der Einspielung lagen die Takes hintereinander gerendert in der DAW vor, siehe Abbildung 7. Es wurden willkürlich 10 Stellen innerhalb dieser Takes gewählt, an denen ein gut hörbarer Signalton eingearbeitet wurde. Es wurde ein Sinuston mit einer Frequenz von 1760 kHz und einer Länge von 200 ms genutzt. Die Töne wurden auf einer zusätzlichen Spur erstellt, die anschließend in der DAW ausgeblendet wurde, sodass keine Auffälligkeiten optisch ersichtlich waren.

Zur Nutzung der in dieser Arbeit entwickelten Software wurde eine entsprechende Notenkodierung des Präludiums benötigt. Dazu wurde der Notentext zunächst in der Notationssoftware *Sibelius* gesetzt und anschließend mit einem frei verfügbaren Exporter [Ha17] in das MEI-Format übersetzt. In einem Papierausdruck des Notensatzes wurden die 10 Stellen markiert, an denen der Signalton in den Takes untergebracht wurde. Nicht ersichtlich war, zu welchem Take die Markierungen gehören.

Anschließend wurde die MEI-Datei zusammen mit den Takes in die entwickelte Software geladen. Die Takes wurden dabei im Vorfeld per Hand mit entsprechenden Start- und Endmarkern annotiert, sodass das Alignment korrekt durchgeführt werden konnte. Die 10 Positionen der Signaltöne wurden direkt in die Noten auf dem Bildschirm eingezeichnet.

Alle Teilnehmer sollten folgende zwei Aufgaben ausführen:

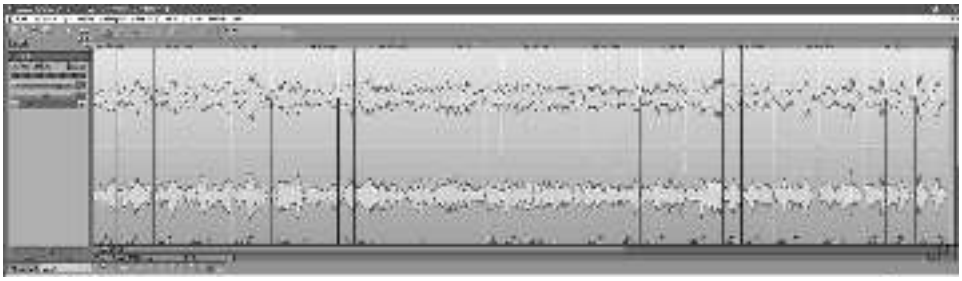


Abb. 7: Hintereinander gerenderte Takes der Testaufnahme in Sequoia.

Navigation in DAW Die Probanden wurden gebeten, die Signaltöne innerhalb der hintereinander dargestellten Takes in Sequoia zu finden. Als Hilfsmittel wurden ihnen der Notenausdruck mit den Einzeichnungen zur Verfügung gestellt. Zusätzlich erhielten sie eine Tabelle, in der notiert war, welche Takte in den einzelnen Takes aufgenommen wurden. Dieses Szenario entspricht der typischen Ausgangslage nach einer fertigen Aufnahme.

Navigation in Prototyp Den Teilnehmern wurde kurz das Konzept des Prototypen erläutert. Anschließend sollten sie die obige Aufgabe mit der neuen Software lösen. Die Eintragungen in den Noten waren entsprechend digital verfügbar, eine separate Take-Liste wurde nicht angefertigt.

Um die Einflüsse der Reihenfolge der durchgeführten Aufgaben auf das Testergebnis zu minimieren, wurden drei der sechs Teilnehmer gebeten, erst mit dem Prototypen und anschließend in der DAW zu arbeiten. Die verbleibenden Teilnehmer taten dies in umgekehrter Reihenfolge. Im Anschluss wurde jeder Proband in einem kurzen Gespräch um Kritik zur Oberfläche und Bedienung gebeten.

5.2 Ergebnisse

Die gestoppten Zeiten der Teilnehmer sind in Tabelle 1 zusammengefasst. Im Durchschnitt dauerte die Suche in der DAW mithilfe der gedruckten Noten etwa 8 Minuten. Die gleiche Aufgabe konnte mit dem Prototypen in durchschnittlich 1:40 Minuten gelöst werden, benötigte also im Vergleich nur etwa 21% der Zeit. Auffallend war, dass ausnahmslos alle sechs Probanden mindestens 76% der Zeit für die Aufgabe einsparen konnten beim Nutzen des Prototypen, also bei allen Teilnehmenden eine eindeutige Verbesserung des Workflows zu beobachten war.

Teilnehmer	#1	#2	#3	#4	#5	#6	∅
Zeit mit DAW	7:31	7:58	8:44	7:30	8:02	8:16	**8:00**
Zeit mit Prototyp	1:25	1:19	2:06	1:46	1:33	1:51	**1:40**
Zeitersparnis	81.2%	83.5%	76.0%	76.4%	80.7%	77.6%	**79.2%**

Tab. 1: Zeiten der einzelnen Teilnehmer für die Suche der in den Noten markierten Stellen im Audiomaterial. Die Teilnehmer #1, #2 und #3 nutzten zuerst den Prototypen und danach die DAW, die anderen entsprechend umgekehrt. (Zeitangaben in M:SS)

Die Evaluation des Prototypen hat die Erwartungen an die dadurch gewonnene Zeitersparnis erfüllt. Obwohl der abschließende Nutzertest kein gänzlich realistisches Szenario aufgespannt hat, wurde dennoch gezeigt, dass die zeitaufwendigsten Vorgänge – die gezielte Suche in Aufnahmen aufgrund von Noteneintragungen und der Vergleich mehrerer Takes – erheblich beschleunigt werden konnten.

Eine Testgruppe mit sechs Probanden erfüllt nicht die Ansprüche an eine vollständige Nutzerstudie. Obwohl daher eine umfangreichere Evolution noch aussteht, zeichnet sich bei der Benutzung des Prototypen dennoch eindeutig eine zeitsparende Verbesserung des Workflows beim Schnitt ab.

Literaturverzeichnis

[BWH16] Berndt, Axel; Waloschek, Simon; Hadjakos, Aristotelis: Hand Gestures in Music Production. 2016.

[DH03] Dannenberg, Roger B.; Hu, Ning: Polyphonic Audio Matching for Score Following and Intelligent Audio Editors. In: Proceedings of the International Computer Music Conference. 2003.

[Ea06] Eargle, J.: Handbook of Recording Engineering. Springer US, 2006.

[Ha17] Sibelius to MEI Plugin, https://github.com/music-encoding/sibmei, Stand: 2017-04-20.

[HT06] System and method for synchronized multi-track editing, US Patent 8,464,154.

[MC11a] Montecchio, Nicola; Cont, Arshia: Accelerating the Mixing Phase in Studio Recording Productions by Automatic Audio Alignment. In: International Symposium on Music Information Retrieval. 2011.

[MC11b] Montecchio, Nicola; Cont, Arshia: A unified approach to real time audio-to-score and audio-to-audio alignment using sequential Montecarlo inference techniques. In: IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing. 2011.

[Mc15] McFee, Brian; Raffel, Colin; Liang, Dawen; Ellis, Daniel PW; McVicar, Matt; Battenberg, Eric; Nieto, Oriol: librosa: Audio and music signal analysis in python. In: Proceedings of the 14th Python in Science Conference. 2015.

[Mo92] Moylan, W.: The Art of Recording: The Creative Resources of Music Production and Audio. Van Nostrand Reinhold, 1992.

[Mu07] Mueller, Meinard: Information Retrieval for Music and Motion. Springer, 2007.

[PD10] Preim, B.; Dachselt, R.: Interaktive Systeme – Band 1: Grundlagen, Graphical User Interfaces, Informationsvisualisierung. eXamen.press. Springer Berlin Heidelberg, 2010.

[PZR14] Pugin, L.; Zitellini, R.; Roland, P.: Verovio: A Library For Engraving MEI Music Notation Into SVG. In: Proceedings of the International Society for Music Information Retrieval Conference. 2014.

[Ro02] Roland, Perry: The Music Encoding Initiative (MEI). In: Proceedings of the 1st International Conference on Musical Applications Using XML. 2002.

[Wa16a] Waloschek, Simon; Berndt, Axel; Bohl, Benjamin W.; Hadjakos, Aristotelis: Accelerating the editing phase in music productions using interactive scores. In: Proceedings of the 2nd AES Workshop on Intelligent Music Production. 2016.

[Wa16b] Waloschek, Simon; Berndt, Axel; Bohl, Benjamin W.; Hadjakos, Aristotelis: Interactive Scores in Classical Music Production. In: Proceedings of the 17th International Society for Music Information Retrieval Conference. 2016.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 205

Versionsübergreifende Visualisierung harmonischer Verläufe: Eine Fallstudie zu Wagners Ring-Zyklus

Christof Weiß[1] Frank Zalkow[1] Meinard Müller[1] Stephanie Klauk[2] Rainer Kleinertz[2]

Abstract: Die computergestützte Erschließung und Analyse von Musikdaten ist eine zentrale Aufgabenstellung der Musikverarbeitung. Ein wichtiges Teilproblem ist die Erkennung von tonalen Strukturen wie Akkorden oder Skalen. In diesem Beitrag diskutieren wir Methoden für die Visualisierung harmonischer Verläufe von Musikwerken und wenden diese exemplarisch auf die Tetralogie *Der Ring des Nibelungen* von Richard Wagner an. Insbesondere stellen wir ein Verfahren vor, bei dem unterschiedliche Aufnahmen (Versionen) desselben Musikwerkes simultan analysiert werden. Als einen wesentlichen Beitrag führen wir ein geeignetes Farbschema ein, mit dem die Gemeinsamkeiten und Unterschiede der Analyseergebnisse über verschiedene Versionen hinweg geeignet dargestellt und visuell erfahrbar gemacht werden. Am Beispiel der automatisierten Analyse harmonischer Strukturen deuten wir an, welches Potenzial informatische Methoden für die musikwissenschaftliche Forschung bieten und wie Fragestellungen der Musikwissenschaft einen Ausgangspunkt für neue informatische Methoden darstellen können.

Keywords: Music Information Retrieval, Musikverarbeitung, Visualisierung, Harmonieanalyse

1 Einleitung

Im Forschungsbereich des *Music Information Retrieval* (MIR) geht es um die Entwicklung von computergestützten Methoden und Werkzeugen zur Erschließung und Analyse von Musikdaten, welche in unterschiedlichen Formaten und Ausprägungen gegeben sein können. Hierbei nimmt die harmonische Analyse von Musikaufnahmen in Form von Audiodaten eine zentrale Rolle ein [CB14, MD10, Mc14]. Dies ist nicht verwunderlich, stellt doch die Harmonik ein grundlegendes Prinzip westlicher Musik dar. Aufgrund ihrer fundamentalen Bedeutung werden harmoniebasierte Merkmale häufig als Mid-Level-Darstellungen für weiterführende Retrieval- und Strukturierungsaufgaben herangezogen [Mü15]. Abhängig von der Zeitskala, also dem betrachteten zeitlichen Kontext, korrespondiert die harmonische Analyse mit unterschiedlichen Aufgabenstellungen wie der Extraktion von Akkordfolgen [CB14, MD10], der lokalen Schätzung von Skalen [PP11, WH14] bis hin zur globalen Bestimmung der Grundtonart [NS06]. Die Analyse eines Musikstücks hinsichtlich auftretender tonaler Strukturen kann durchaus problematisch sein. Für komplexe Musik sind sich Musikwissenschaftler oft nicht einig in der Deutung harmonischer Verläufe.

[1] International Audio Laboratories Erlangen, christof.weiss@audiolabs-erlangen.de
[2] Universität des Saarlandes, Institut für Musikwissenschaft

doi:10.18420/in2017_14

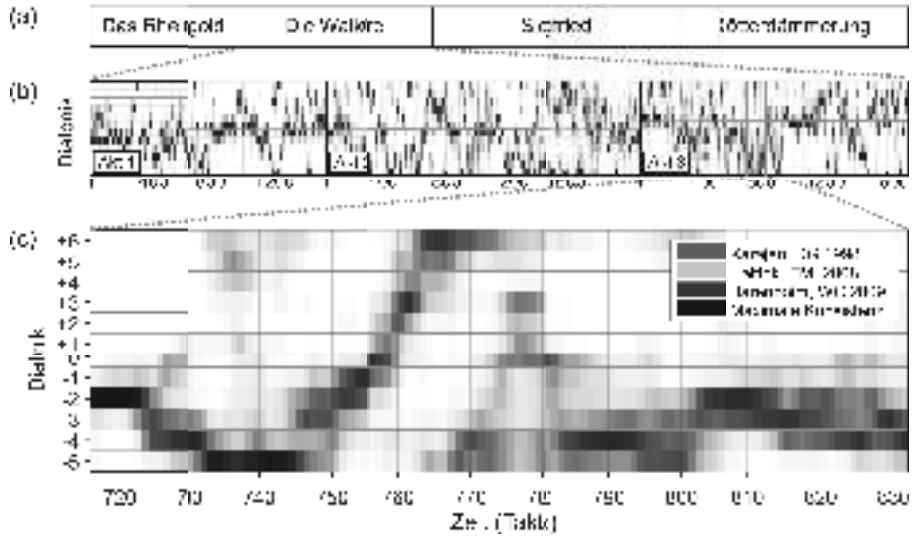


Abb. 1: Darstellung harmonischer Verläufe auf unterschiedlichen Zeitskalen. (a) Übersicht über den *Ring des Nibelungen*. (b) Gesamtüberblick über *Die Walküre*. (c) Detailansicht der Takte 716–832 aus dem dritten Akt der Walküre.

Unterschiedliche musiktheoretische Konzepte (Tonarten-, Funktionsbezeichnungen oder reduktionistische Notationen im Stile Heinrich Schenkers) liefern mehr oder weniger komplexe Beschreibungen, welche eine aufwändige Analyse erfordern und oft auch dem Spezialisten keinen intuitiven Überblick ermöglichen. Weiterhin hängt die Analyse von der jeweiligen Fragestellung, der musikalischen Stilistik sowie der betrachteten Zeitskala ab. Automatisierte Methoden zur Harmonieanalyse stoßen hier schnell an ihre Grenzen.

Anstatt eine explizite harmonische Analyse durchzuführen, geht es in diesem Beitrag um Visualisierungskonzepte, die automatisch gemessene harmonische Strukturen grafisch darstellen. In [Sa05] wird eine hierarchische Darstellungsform eingeführt, die dem Benutzer Analyseergebnisse simultan auf unterschiedlichen Zeitskalen präsentiert. Im Projekt „PHENICX“ (Performances as Highly Enriched aNd Interactive Concert eXperiences) werden Visualisierungen harmonischer Strukturen eingesetzt, um das Konzerterlebnis von klassischen Konzertaufführungen zu bereichern [LGS15]. Grundlage für unseren Beitrag sind die in [WKM16] vorgestellten Methoden zur Visualisierung von Akkorden und Skalen. Hierbei werden in einem gewissen mathematischen Sinne Wahrscheinlichkeiten für das Auftreten lokaler harmonischer Strukturen über die Zeit hinweg dargestellt. Zum Beispiel zeigt Abb. 1c eine solche Visualisierung hinsichtlich diatonischer Skalen.

In diesem Artikel wollen wir die in [WKM16] vorgestellten Konzepte erweitern. Als einen wesentlichen Beitrag führen wir ein neuartiges Visualisierungskonzept ein, das eine simultane Darstellung von unterschiedlichen Analyseergebnissen ermöglicht. Hierbei ist

anzumerken, dass automatisierte Verfahren stets von konkreten Darstellungen des musikalischen Werks ausgehen, z. B. einem digitalisierten Notentext, einer MIDI-Darstellung oder einer CD-Einspielung. Das Analyseergebnis hängt damit nicht nur von werkimmanenten, sondern auch von darstellungsspezifischen Eigenschaften ab. In unserer Visualisierung führen wir ein geeignetes Farbschema ein, das sowohl die Gemeinsamkeiten als auch die Unterschiede der Analyseergebnisse über verschiedene Versionen hinweg darstellen kann. Eine solche Visualisierung ist in Abb. 1c dargestellt für den Fall von drei unterschiedlichen Einspielungen, dirigiert von Herbert von Karajan (Berliner Philharmoniker, aufgenommen 1966–1970, Deutsche Grammophon), Bernard Haitink (Symphonieorchester des Bayerischen Rundfunks 1988–1991, EMI) und Daniel Barenboim (Bayreuther Festspiele 1991–1992, Warner Classics). Unsere Hypothese ist, dass Konsistenzbereiche in solchen Darstellungen (in Abb. 1c durch die Farbe „Schwarz“ kodiert) auf werkimmanente Eigenschaften hinweisen, was in ähnlicher Weise auch in [KMK13] untersucht wurde.

Als einen weiteren Beitrag dieser Arbeit diskutieren wir, wie unsere Visualisierungskonzepte in Benutzerschnittstellen integriert werden können, die einem Musikwissenschaftler ermöglichen, die berechneten Analyseergebnisse intuitiv zu erfassen sowie in unterschiedlichen Auflösungen hierarchisch zu durchsuchen, zu interpretieren und interaktiv anzupassen. Anhand der Tetralogie *Der Ring des Nibelungen* von Richard Wagner deuten wir an, wie man auf diese Weise großformatige Übersichten harmonischer Verläufe für ganze Werkzyklen erzeugen kann. Die Verifizierung der musikwissenschaftlichen Relevanz solcher Konzepte erfolgt im Rahmen eines von der DFG geförderten Kooperationsprojektes.[3]

Der Artikel gliedert sich wie folgt: Zunächst gehen wir in Abschnitt 2 auf unser Fallbeispiel, *Der Ring des Nibelungen*, ein und erläutern die Relevanz des Beispiels für das Projekt. In Abschnitt 3 fassen wir unterschiedliche Analysemethoden zusammen, welche die Grundlage für diese Arbeit bilden. Daraufhin stellen wir in Abschnitt 4 unser versionsübergreifendes Visualisierungskonzept sowie das vorgeschlagene Farbschema vor. In Abschnitt 5 diskutieren wir abschließend die Ergebnisse und geben einen Ausblick auf weitere Forschungsarbeiten.

2 Fallbeispiel: Wagners „Ring“

In diesem Artikel stellen wir aufbauend auf [WKM16] ein Visualisierungskonzept vor, welches wir dann exemplarisch auf Richard Wagners Tetralogie *Der Ring des Nibelungen* anwenden. Beim *Ring* handelt es sich um einen Zyklus von vier musikdramatischen Werken (siehe Abb. 1), welche in Aufzüge (mit Ausnahme des *Rheingolds*) und Szenen untergliedert sind. Eine Aufführung des gesamten Zyklus nimmt bis zu 15 Stunden in Anspruch. Bei einem Werk solcher Länge kommen die Vorteile computergestützter Methoden in besonderer Weise zur Geltung. Werkzeuge zur Suche, Navigation und Visualisierung erleichtern den Zugang und ermöglichen einen Überblick über solche umfangreichen Musikdatenbestände. Zum Beispiel deutet Abb. 1b eine Visualisierung des harmonischen Verlaufs für den

[3] Computergestützte Analyse harmonischer Strukturen (DFG MU 2686/7-1, DFG KL 864/4-1)

zweiten Teil, *Die Walküre*, an. Nicht nur aufgrund seines großen Umfangs stellt der *Ring* eine Herausforderung dar. Bei der harmonischen Analyse des *Rings* wird auch musikwissenschaftlich weitgehend Neuland betreten. Hierzu sind großformatige Analysen tonaler Strukturen und deren Bezüge erforderlich. Eine der wenigen Arbeiten in dieser Richtung sind die Analysen von Alfred Lorenz [Lo24] aus den 1920er Jahren, welche in der Musikwissenschaft höchst umstritten sind [Kl14]. Die Validität der Analysen von Lorenz in ihrem methodischen Ansatz und ihrer praktischen Umsetzung wurde in den 1960er Jahren von Carl Dahlhaus hinterfragt [Da65, Br02]. Um Beschreibungen der harmonischen Anlage des *Rings* zu entwickeln, welche sich näher an den tatsächlich beobachteten Phänomenen orientieren, sind objektivere Analysen nötig. Hierfür kann die automatisierte Messung und Visualisierung tonaler Strukturen ein geeignetes Werkzeug darstellen.

3 Computergestützte Harmonieanalyse

Ein wesentlicher Bestandteil musikalischer Analyse ist die Erkennung von tonalen Strukturen wie Akkorden, Skalen oder Tonarten im Verlauf eines Werkes. Im MIR-Bereich werden solche Analysen mittels automatisierter Verfahren umgesetzt. Die Grundlage für solche Analysen bilden meist sogenannte *Chromagramm-Darstellungen*, welche die Energieverteilung des Musiksignals über die zwölf chromatischen Tonhöhenklassen im Verlauf der Zeit erfassen. Dazu wird das Signal zunächst in lokale Zeitfenster der Breite w (window size) unterteilt. Innerhalb eines Fensters werden nun die Anteile verschiedener Frequenzen berechnet, was unter anderem durch die Fouriertransformation realisiert werden kann [Mü15, Kapitel 2]. Dieses Zeitfenster wird nun über das Signal geschoben (shift), wobei der Vorschub durch einen Parameter h (hop size) festgelegt wird. Die Chroma-Darstellungen können grafisch visualisiert werden, wie in Abb. 2a gezeigt wird. In diesem Beispiel sind die Zeitfenster bereits auf einer musikalischen Zeitachse spezifiziert ($w = 1$ Takt, ebenso $h = 1$ Takt), was eine vergleichende Betrachtung von Notentext und Visualisierung ermöglicht. Zu diesem Zweck muss vorher die Position der Taktgrenzen manuell bestimmt oder durch geeignete Algorithmen ermittelt werden [KMK13, Za17]. Für die drei Aufnahmen, die in dieser Arbeit herangezogen werden, wurden alle Taktgrenzen durch Studenten anhand des Klavierauszugs händisch markiert. Jede Einspielung wurde dabei von mindestens zwei Annotatoren bearbeitet und größere Abweichungen anschließend nachkorrigiert. Einzelheiten zu diesem Vorgehen sowie eine Analyse der Konsistenz zwischen den Annotatoren finden sich in [We16].

Für jeden Zeitpunkt m zeigt die Visualisierung in Abb. 2a die lokale Energieverteilung über die zwölf Tonhöhenklassen in dem jeweiligen Zeitfenster (zentriert um m).[4] Hohe Energie wird durch einen dunklen (schwarzen) Farbwert dargestellt, niedrige Energie durch einen hellen (weißen) Farbwert. Grauwerte deuten auf mittlere Energie hin. In einstimmigen Passagen lassen sich die Visualisierungen der Chroma-Darstellungen besonders intuitiv

[4] Die enharmonische Unterscheidung von Tonhöhen wie z. B. *cis* und *des* ist hierbei nicht möglich, was einen wesentlichen Unterschied zur Analyse symbolischer Musikdaten wie Partituren darstellt.

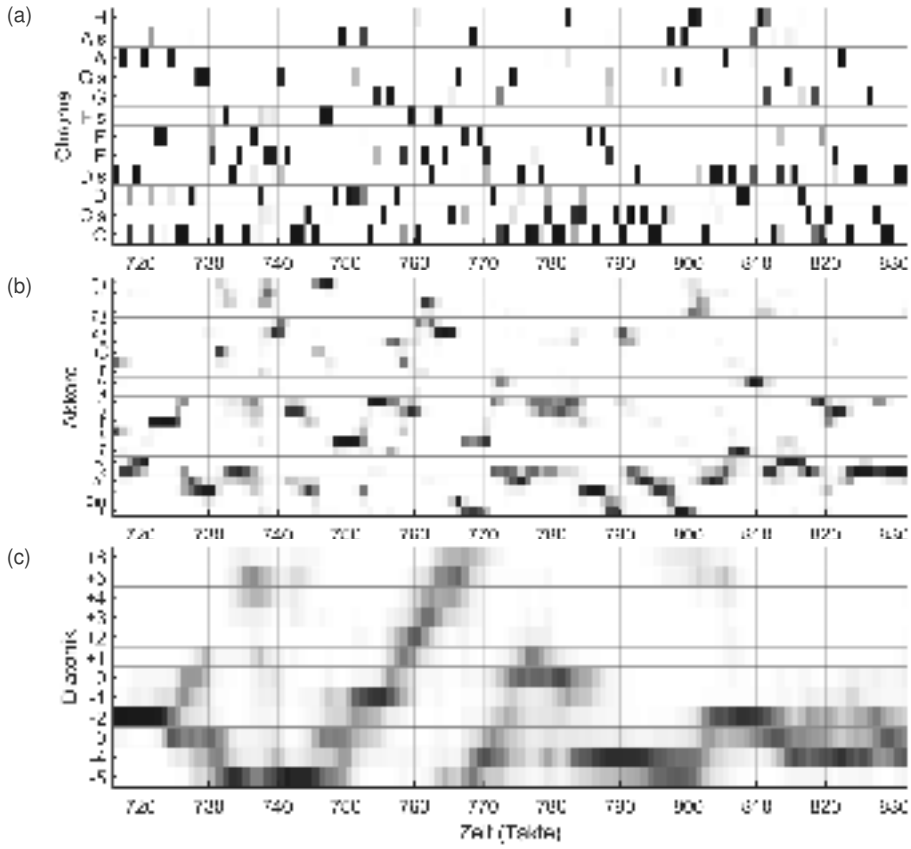


Abb. 2: Unterschiedliche Darstellungen für die Takte 716–832 aus dem dritten Akt der *Walküre*. **(a)** Chromagramm mit Fenstergröße $w = 1$ Takt. **(b)** Zeit-Akkord Darstellung mit Fenstergröße $w = 4$ Takte. **(c)** Zeit-Skalen Darstellung mit Fenstergröße $w = 12$ Takte.

verfolgen. So wird beispielsweise in T. 719–720 ein *es* (enharmonisch verwechselt *dis*) gehalten, in T. 722–723 ein *f* und in T. 725–726 ein *c*, was in Abb. 2a deutlich sichtbar ist.

Die Betrachtung von Tonhöhenklassen hat jedoch nur begrenzte Aussagekraft für harmonisch komplexere Sachverhalte. Sinnvollere Kategorien für diesen Zweck stellen Intervalle, Akkorde oder Skalen dar. Im vorliegenden Beitrag konzentrieren wir uns bei der Akkordmessung auf die 24 Dur- und Molldreiklänge[5] und bei der Skalenmessung auf die zwölf diatonischen

[5] Aufgrund der enharmonischen Invarianz der Chromagramm-Darstellungen können Dreiklänge wie z. B. Cis-Dur und Des-Dur nicht unterschieden werden.

Skalen, welche hier in Analogie zur jeweils entsprechenden Vorzeichnung benannt werden.[6] Bei der Berechnung der harmonischen Strukturen werden die Chromagramm-Darstellungen lokal mit binären Prototypen (templates) verglichen, welche den Akkorden [SE03, MD10] oder Skalen [WH14] entsprechen. Ein C-Dur-Dreiklang wird beispielsweise durch den Prototyp

$$\mathbf{P}_{\mathrm{C-Dur}} = (\,1\;\;0\;\;0\;\;0\;\;1\;\;0\;\;0\;\;1\;\;0\;\;0\;\;0\;\;0\,)^{\mathrm{T}} \tag{1}$$

modelliert. Über den lokalen Abgleich können Wahrscheinlichkeiten für das Auftreten dieser harmonischen Strukturen ermittelt werden. Im Falle diatonischer Skalen erhält man eine Matrix von errechneten Analyseergebnissen $\mathcal{A} \in \mathbb{R}^{D \times M}$. Für eine Diatonik mit Index $d \in [0 : D-1] := \{0, 1, \ldots, D-1\}$ mit $D = 12$ und einen Taktindex $m \in [1 : M]$ kann der Eintrag $\mathcal{A}(d, m)$ als Wahrscheinlichkeit für das Auftreten der diatonischen Skala d im Takt m interpretiert werden, da die Ergebnisse vorher geeignet normiert wurden. Diese Analysematrix $\mathcal{A}$ kann nun durch ein Graustufen-Schema visualisiert werden (wie in Abb. 2b), wobei hier dunkle Farben eine hohe Wahrscheinlichkeit andeuten. Zur Hervorhebung der wichtigen Strukturen können weitere Verarbeitungsschritte erforderlich sein. Beispielsweise kann eine zeitliche Glättung oder eine Anhebung der höheren Energiewerte sowie eine Unterdrückung der niedrigen, rauschartigen Werte zu deutlicheren visuellen Strukturen führen. Letzteres wird im vorliegenden Beitrag mittels einer exponentiellen Umskalierung der Energiewerte realisiert (ähnlich der Softmax-Funktion). Bei der grafischen Darstellung dieser Strukturen hat es sich als nützlich erwiesen, die vertikale Achse nach dem Quintenzirkel anzuordnen, um die tonalen Bezüge zwischen Akkorden und Skalen zu berücksichtigen. Für weitere Details zur Berechnung und Visualisierung verweisen wir auf [SE03, KMK13, WH14].

In Abb. 2 demonstrieren wir verschiedene Visualisierungskonzepte am Beispiel eines Ausschnitts aus der *Walküre*. Bei der Betrachtung der Skalenanalyse (Abb. 2c) lässt sich in den Takten 716 bis ca. 725 eine hohe Wahrscheinlichkeit für die −2-Diatonik erkennen. Daraus kann man auf die Tonarten B-Dur oder g-Moll in diesem Bereich schließen. Eine vergleichende Analyse des Notentexts zeigt tatsächlich einen deutlichen g-Moll-Charakter bis T. 721. Als weiteres Beispiel lässt sich im Notentext ein klarer f-Moll-Eindruck für die Passage T. 785–798 feststellen. In den Visualisierungen finden wir dies wieder, angedeutet durch eine hohe Wahrscheinlichkeit für die −4-Diatonik in Abb. 2c sowie durch die Dominanz des f-Moll-Dreiklangs in Abb. 2b.

4 Versionsübergreifende Visualisierung

Als Besonderheit sogenannter „klassischer“ Musik liegen Werke oft in einer Vielzahl verschiedener Einspielungen (Versionen) vor. Diese können in der musikalischen Gestaltung hinsichtlich des Tempoverlaufs, der Phrasierung oder der Artikulation erheblich voneinander abweichen. Der tonale Gehalt der Musik sollte von aufführungsspezifischen Besonderheiten

[6] Die Skala +1 bezieht sich beispielsweise auf eine Diatonik mit einem ♯ (entspricht dem Tonvorrat von G-Dur oder e-Moll), −3 auf eine Diatonik mit drei ♭ (Es-Dur oder c-Moll), und 0 auf die Diatonik ohne Vorzeichen (C-Dur oder a-Moll), welche den weißen Tasten des Klaviers entspricht.

hingegen weitgehend unberührt bleiben und gegenüber Detailvariationen wie Vibrato oder Feinheiten in der Intonation stabil sein.[7] Unsere Idee ist es, das Vorliegen mehrerer Versionen für die audiobasierte Harmonieanalyse auszunutzen, indem die Analyse separat für mehrere Einspielungen durchgeführt wird. Dazu berechnen wir die Analysen auf Basis einer musikalischen Zeitachse (taktweise, siehe oben), was einen Vergleich der Ergebnisse über verschiedene Versionen hinweg ermöglicht [Za17]. Auf dieser Basis stellen wir Gemeinsamkeiten und Unterschiede in den Ergebnissen grafisch dar. Bereits in [KMK13] wurde eine solche Strategie zur Analyse einer Klaviersonate auf Basis mehrerer Versionen herangezogen. Im Folgenden führen wir ein Farbschema ein, welches im Speziellen den Vergleich von Analyseergebnissen über drei Versionen ermöglicht. Dabei können sowohl die Konsistenz der Versionen als auch die Ergebnisse der Einzelversionen visuell nachverfolgt werden.

Für diese versionsübergreifende Darstellung berechnen wir die Analysematrix $\mathcal{A}$ zunächst für verschiedene Einspielungen separat. Für N verschiedene Einspielungen (Versionen) erhalten wir somit N Analysematrizen $\mathcal{A}_n$ mit $n \in [0 : N-1]$. Einen beliebigen Eintrag dieser Matrizen für die verschiedenen Versionen kürzen wir im Folgenden durch $a_n := \mathcal{A}_n(d, m)$ ab. Die Konsistenz dieser Einträge a_n über unterschiedliche Versionen n wird nun durch eine Farbkodierung dargestellt. In unserem Fall von $N = 3$ Versionen nutzen wir hierfür die Parametrisierung des additiven RGB-Farbraums (Rot, Grün, Blau). Eine Farbe wird im Folgenden durch einen dreielementigen Vektor $\mathbf{c} := \left(c_\mathrm{r}, c_\mathrm{g}, c_\mathrm{b}\right)^\mathrm{T} \in \mathbb{R}^3$ modelliert. Jeder Eintrag nimmt Werte im Bereich $[0, 1]$ an, wobei Schwarz mit $\mathbf{c} = (0, 0, 0)^\mathrm{T}$ und Weiß mit $\mathbf{c} = (1, 1, 1)^\mathrm{T}$ die Grenzfälle darstellen.

Für die Farbmodellierung fassen wir $\mathbf{c}$ im Folgenden als eine vektorwertige Funktion $\mathbf{c} : \mathbb{R}^3 \to \mathbb{R}^3$ auf, welche die drei Analyseergebnisse a_n auf den RGB-Farbraum abbildet. Für die Funktionswerte $\mathbf{c}\,(a_0, a_1, a_2)$ betrachten wir folgende Randbedingungen: Bei Übereinstimmung aller Versionen für einen Eintrag der Analysematrix ($a := a_0 = a_1 = a_2$) sollen sich die Farben zu einem Grauwert addieren. Für den Maximalwert $a = 1$ (hohe Wahrscheinlichkeit) soll sich der Farbvektor für Schwarz ergeben:

$$\mathbf{c}\,(1, 1, 1) := (0, 0, 0)^\mathrm{T}. \tag{2}$$

Falls alle Versionen übereinstimmend den Minimalwert $a = 0$ liefern, soll der Farbvektor für Weiß resultieren:

$$\mathbf{c}\,(0, 0, 0) := (1, 1, 1)^\mathrm{T}. \tag{3}$$

Für Zwischenwerte $0 < a < 1$, welche jedoch über die Versionen hinweg übereinstimmen, soll sich entsprechend ein mittlerer Grauwert ergeben. Stimmen die Analyseergebnisse der Einzelversionen nicht überein, soll sich nun ein echter (nicht grauer) Farbwert ergeben. Falls

[7] Globale Aspekte wie eine Transposition oder abweichende Grundstimmungen stellen größere Probleme für die versionsübergreifende Harmonieanalyse dar. Solche Unterschiede müssen vor der Analyse detektiert und entsprechend berücksichtigt werden.

die erste Version den Maximalwert $a_0 = 1$ liefert (die anderen beiden $a_1 = a_2 = 0$) soll der Farbvektor für Rot resultieren:

$$\mathbf{c}\,(1,0,0) := (1,0,0)^{\mathrm{T}}. \tag{4}$$

In entsprechender Weise soll die zweite Version ($n = 1$) zu Blau und die dritte Version ($n = 2$) zu Grün korrespondieren:

$$\mathbf{c}\,(0,1,0) := (0,1,0)^{\mathrm{T}}, \tag{5}$$

$$\mathbf{c}\,(0,0,1) := (0,0,1)^{\mathrm{T}}. \tag{6}$$

Damit stellen wir ein möglichst einfaches Gleichungssystem (linear in den Parametern) auf

$$\mathbf{c}\,(a_0,a_1,a_2) = \begin{pmatrix}\alpha_0\\ \alpha_1\\ \alpha_2\end{pmatrix} + a_0\begin{pmatrix}\beta_0\\ \beta_1\\ \beta_2\end{pmatrix} + a_1\begin{pmatrix}\gamma_0\\ \gamma_1\\ \gamma_2\end{pmatrix} + a_2\begin{pmatrix}\delta_0\\ \delta_1\\ \delta_2\end{pmatrix} + \begin{pmatrix}a_1a_2\cdot\epsilon_0\\ a_0a_2\cdot\epsilon_1\\ a_0a_1\cdot\epsilon_2\end{pmatrix}, \tag{7}$$

mit insgesamt 15 Parametern α_k, β_k, γ_k, δ_k und ϵ_k, wobei $k \in \{0,1,2\}$. Die gemischten Terme sind erforderlich, um die 15 Freiheitsgrade der Randbedingungen (2)–(6) erfüllen zu können. Durch Lösung des Gleichungssystems folgt die folgende Berechnungsvorschrift:

$$\mathbf{c}\,(a_0,a_1,a_2) = \begin{pmatrix}c_{\mathrm{r}}\\ c_{\mathrm{g}}\\ c_{\mathrm{b}}\end{pmatrix} = \begin{pmatrix}1\\ 1\\ 1\end{pmatrix} - \begin{pmatrix}a_1 + a_2 - a_1a_2\\ a_0 + a_2 - a_0a_2\\ a_0 + a_1 - a_0a_1\end{pmatrix}. \tag{8}$$

Diese Berechnung wird nun für jeden Eintrag der Analysematrizen $\mathcal{A}_n(d,m)$ durchgeführt, mit $d \in [0:D-1]$, $m \in [1:M]$ sowie $n \in [0:N-1]$ wobei $N = 3$. Als Resultat erhält man einen Tensor dritter Stufe $C \in \mathbb{R}^{D\times M\times N}$ mit Einträgen $C(d,m,n)$, deren letzter Index $n \in \{0,1,2\}$ sich auf die drei Dimensionen des RGB-Farbraums bezieht.

5 Diskussion und Ausblick

Wir wollen nun die Eigenschaften des Visualisierungskonzeptes diskutieren. Mit Hilfe des eingeführten Farbschemas stellen wir in Abb. 3 verschiedene Analysen einer Passage aus dem dritten Akt der *Walküre* auf Basis dreier Einspielungen (dirigiert von Karajan, Haitink und Barenboim) dar. Abb. 3a zeigt ein Chromagramm mit einer Fensterbreite $w = 1$ Takt. Das grafische Resultat ergibt ein unübersichtliches Bild, da sich die beobachteten Muster von Takt zu Takt meist stark ändern. Diese Wechselhaftigkeit ist nicht weiter verwunderlich, stellt das Chromagramm doch Tonhöheneigenschaften einzelner Töne über einen Zeitraum von mehr als 100 Takten dar. Die hohe Farbigkeit impliziert eine vergleichsweise geringe Konsistenz der Analyse über die Versionen hinweg. Dies ist zunächst verwunderlich, da ein sehr ähnlicher tonaler Verlauf in allen Einspielungen zu erwarten ist und globale Effekte

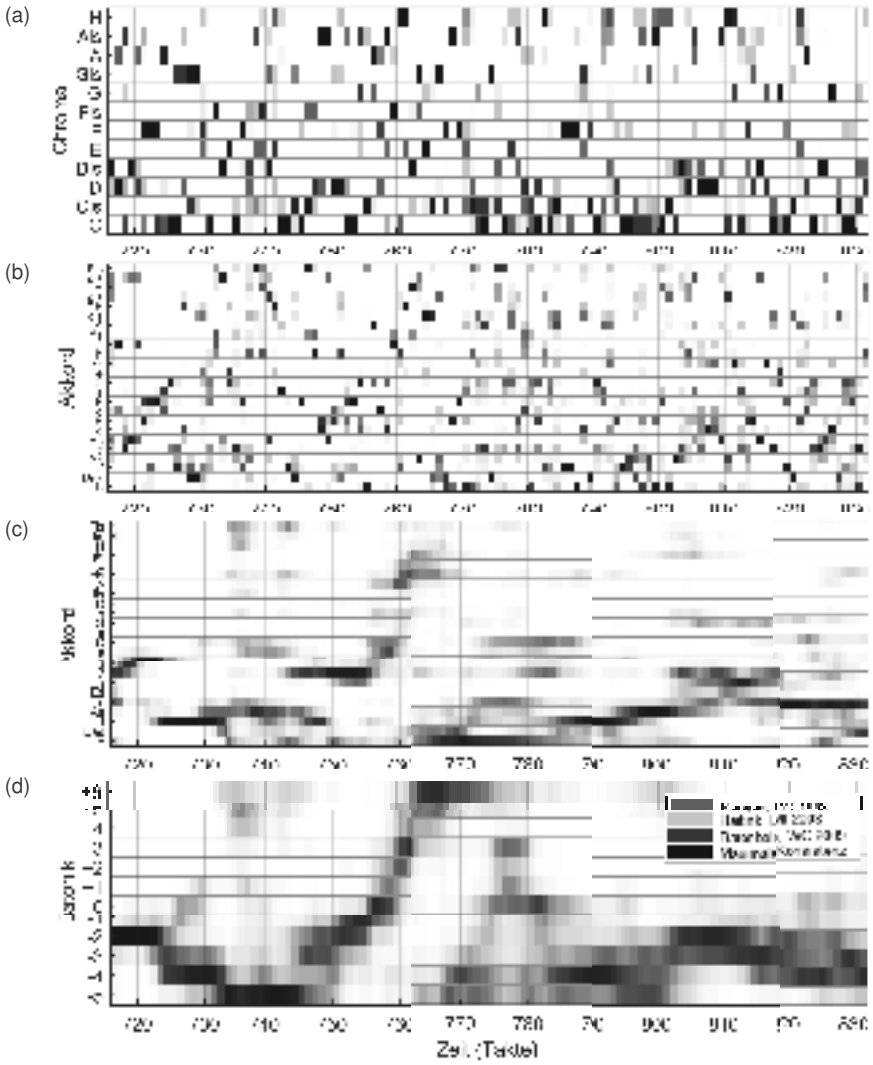


Abb. 3: Versionsübergreifende Visualisierungen für die Takte 716–832 aus dem dritten Akt der *Walküre*. **(a)** Chromagramm mit Fenstergröße $w = 1$ Takt. **(b)** Akkordanalyse mit Fenstergröße $w = 1$ Takt. **(c)** Akkordanalyse mit Fenstergröße $w = 12$ Takt. **(d)** Skalenanalyse mit Fenstergröße $w = 12$ Takt.

wie die Grundstimmung des Orchesters entsprechend berücksichtigt wurden. Typische Abweichungen treten zwischen chromatisch benachbarten Tonhöhenklassen auf wie in T. 771–773 (*c*, *cis*, *d*). Gründe hierfür können in aufführungsspezifischen Besonderheiten wie dem Vibrato, welches bei Wagner-Sängern oft große Amplituden erreicht, oder Verzierungen

liegen, aber auch in Ungenauigkeiten der Intonation. Häufiger anzutreffen sind auch Terz- oder Quint-Verwechslungen wie in T. 757 (*d*, *f*, *a*). Diese können unter anderem von den Tönen eines Dreiklangs herrühren, welche in verschiedenen Einspielungen aufgrund der individuellen Klangbalance zwischen den Instrumenten unterschiedlich stark präsent sind. Außerdem kann die individuelle Klangfarbe der Instrumente oder Sänger zu einer abweichenden Präsenz von Obertönen führen, welche sich im Chromagramm niederschlägt. Solche und ähnliche Effekte werden durch die exponentielle Umskalierung noch verstärkt, was zu den starken versionsabhängigen Unterschieden in der Visualisierung führt.

In Abb. 3b gehen wir nun zu einer Dreiklangsanalyse über, mit Fensterbreite $w = 1$ Takt. Auch hier zeigt sich eine kleinteilige Struktur mit taktweise stark wechselnden Analyseergebnissen. Versionsabhängige Unterschiede treten oft zwischen Akkorden mit gemeinsamen Tönen auf, welche in der gewählten Anordnung meist benachbart sind. Ein Beispiel ist in T. 724 zu beobachten (a-Moll, F-Dur und d-Moll). Auch Verwechslungen zwischen Variantklängen treten auf wie in T. 742 (a-Moll und A-Dur). In T. 771–785 ist eine längere Phase mit niedriger Konsistenz zu beobachten. Diese Stelle zeichnet sich durch weitgehend einstimmigen Gesang mit stark wechselnder Harmonik aus, was oft zu instabilen Analyseergebnissen führt. In ähnlicher Weise sind viele Beobachtungen anhand des Klavierauszugs gut nachzuvollziehen. Die Übersichtlichkeit der Darstellung ist bei einer solchen kleinteiligen Analyse jedoch begrenzt, da sich kaum Trends über größere Zeiträume erkennen lassen.

Um die globalen Strukturen stärker hervorzuheben, gehen wir nun zu größeren Analysefenstern über. Abb. 3c zeigt eine Dreiklangsanalyse mit einer Fensterbreite von $w = 12$ Takte. Das visuelle Ergebnis gewinnt dadurch an Deutlichkeit. Beispielsweise lässt sich in T. 723–733 ein f-Moll-Dreiklang erkennen oder in T. 818–829 ein c-Moll-Akkord, beide mit hoher Konsistenz. Die grobe zeitliche Glättung mag zunächst irritieren, erklingt doch selten ein einzelner Akkord über einen Zeitraum von zwölf Takten. Es zeigt sich jedoch, dass geglättete Chromagramme die dominanten Tonhöhen über einen solchen Zeitraum gut hervorheben und auf diese Weise zentrale tonale Strukturen erkennen lassen, welche oft mit Dreiklängen korrespondieren. Beispielsweise lässt der Klavierauszug im Abschnitt T. 723–733 neben f-Moll auch mehrere verwandte Akkorde wie Des-Dur oder ein Dominantseptakkord auf *c* erkennen. Diese stehen jedoch in einem engen klanglichen Verhältnis mit dem f-Moll-Akkord und bestätigen diesen als tonales Zentrum (vgl. Abb. 4). Interessanterweise führt die zeitliche Glättung auch zu höherer Konsistenz zwischen den Versionen. Lediglich tonal instabile Stellen, welche sich von einer Dreiklangsharmonik entfernen, führen zu Inkonsistenzen wie in T. 771–785. Letzteres ist in der Wagnerschen Musik aufgrund ihrer harmonischen Komplexität häufig der Fall, weshalb eine Analyse hinsichtlich Dur- und Molldreiklängen hier teilweise an ihre Grenzen stößt. Allerdings hat sich herausgestellt, dass die Dreiklangsanalyse besonders für harmonisch stabile Stellen zu Konsistenzen in den Visualisierungen führt. Somit kann ein guter Überblick über die tonalen Ankerpunkte der Musik gewonnen werden.

Neben dem zeitlichen Filtern durch größere Analysefenster haben wir bereits ein „musikalisches Filtern“ angewandt, indem wir von einzelnen Tonhöhenklassen zu Akkorden

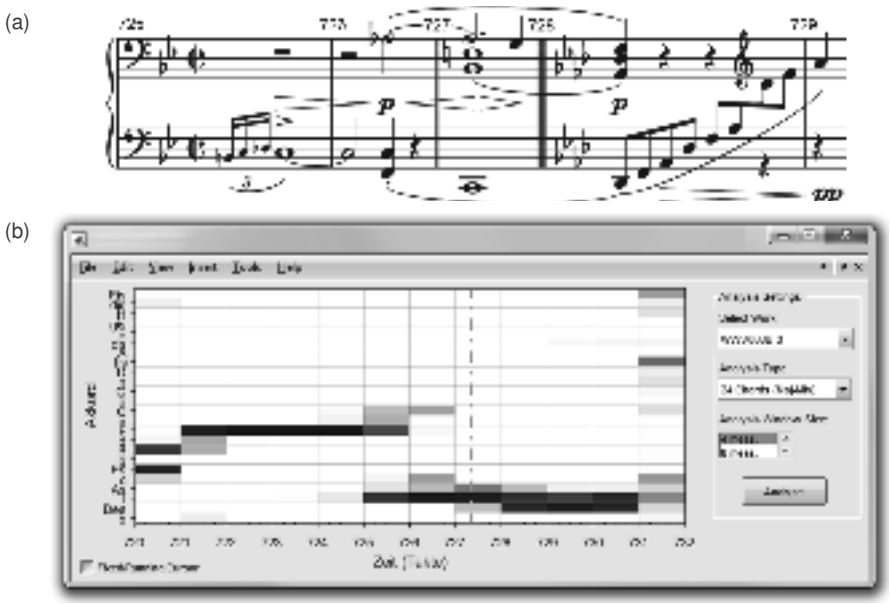


Abb. 4: *Die Walküre*, dritter Akt, T. 725–729. **(a)** Klavierauszug nach R. Kleinmichel. **(b)** Akkordanalyse in einer grafischen Benutzerschnittstelle.

übergegangen sind. Dieses Prinzip erweitern wir nun, indem wir diatonische Skalen betrachten. Abb. 3d zeigt diese Visualisierung, ebenfalls mit einer Fensterbreite von $w = 12$ Takte. Hier ist ein noch deutlicherer Harmonieverlauf erkennbar. Ein Grund ist die Zusammenfassung mehrerer Dreiklänge in einer einzigen Diatonik, wie zum Beispiel die drei Akkorde B-Dur, d-Moll und F-Dur in T. 716–724, welche zusammen Teil der −2-Diatonik sind. Lokal sind die gemessenen Skalen nicht immer konsistent über die verschiedenen Versionen. Verwechslungen treten zumeist zwischen benachbarten (quintverwandten) Skalen auf, welche eine hohe Zahl gemeinsamer Töne aufweisen (sechs von sieben). In T. 751–754 beispielsweise führt die Einspielung unter Barenboim (blau) zu einem hohen Wert für die −2-Diatonik, während die anderen Aufnahmen höhere Werte für die benachbarte −1-Diatonik ergeben. Dies deutet eher auf eine Unschärfe als auf eine grundsätzliche Inkonsistenz hin.

Insgesamt lässt sich in der Passage T. 740–765 ein sehr auffälliges Muster beobachten, welches einen allmählichen Anstieg des Tonmaterials über die Quintensäule suggeriert. Der Anschein eines kontinuierlichen Verlaufs folgt zu einem gewissen Grad aus der großen Fensterbreite und ist somit zumindest teilweise ein Artefakt der zeitlichen Glättung. Dazwischen ergeben sich jedoch immer wieder konsistente Bereiche wie um T. 754 (−1), um T. 762 (+3) oder um T. 765 (+6). Aus der Partituranalyse lassen sich hier verschiedene tonale Zentren wie d-Moll (T. 757) und E-Dur (T. 761) sowie eine es-Moll-Region (bzw. dis-Moll) in T. 767 erkennen. Dies bestätigt die ansteigende Entwicklung auf der Quintensäule,

welche aus einer kleinteiligen Analyse nur schwer ersichtlich ist. Die beschriebene Stelle zeigt auf, wie die vorgestellten Visualisierungen in der musikwissenschaftlichen Praxis von Nutzen sein können. Tatsächlich trat der besondere tonale Charakter dieser Passage bei der gemeinsamen Projektarbeit zwischen Musik- und Ingenieurswissenschaften zum Vorschein. Die Grafiken stellten hier den Ausgangspunkt dar und motivierten eine nähere Betrachtung der betreffenden Stelle. Im Gegensatz zur Verifizierung bereits bestehender Hypothesen, wie sie in [WKM16] durchgeführt wurde, können so neue Sachverhalte aufgespürt und untersucht werden. Wie im vorliegenden Beitrag angedeutet wurde, spielt dabei die Wahl der Analyseparameter eine entscheidende Rolle. Eine universell anwendbare, „richtige“ Parameterwahl gibt es dabei häufig nicht, da diese üblicherweise vom jeweiligen musikalischen Kontext abhängt. Die schrittweise Einstellung insbesondere der zeitlichen und musikalischen Glättungsparameter kann jedoch zum Hervortreten charakteristischer Muster führen oder diese in detaillierte Bestandteile auflösen. Um dies in einer interaktiven Arbeitsweise umsetzen zu können, arbeiten wir an einer Benutzerschnittstelle, mit der sich wesentliche Parameter auf intuitive Weise ändern lassen (siehe Abb. 4). Eine solche Arbeitsmethode emöglicht die schnelle Navigation innerhalb des *Rings*, die Fokussierung auf verschiedene harmonische Konzepte sowie einen visuellen Überblick über großformatige Strukturen und kann so zu neuen Erkenntnissen in der Musikwissenschaft führen.

Danksagungen

Die International Audio Laboratories Erlangen sind eine gemeinsame Einrichtung der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg (FAU) und des Fraunhofer-Instituts für Integrierte Schaltungen IIS. Die vorgestellte Arbeit wurde durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft gefördert (DFG MU 2686/7-1, DFG KL 864/4-1). Wir bedanken uns bei Vlora Arifi-Müller und den studentischen Hilfskräften für die Erstellung der Musikannotationen.

Literaturverzeichnis

[Br02] Breig, Werner: Wagners Begriff der „dichterisch-musikalischen Periode“. In (Döge, Klaus; Jost, Christa; Jost, Peter, Hrsg.): „Schlagen Sie die Kraft der Reflexion nicht zu gering an.“ Beiträge zu Richard Wagners Denken, Werk und Wirken, S. 158–172. Schott, Mainz, 2002.

[CB14] Cho, Taemin; Bello, Juan Pablo: On the Relative Importance of Individual Components of Chord Recognition Systems. IEEE/ACM Transactions on Audio, Speech, and Language Processing, 22(2):477–492, 2014.

[Da65] Dahlhaus, Carl: Wagners Begriff der „dichterisch-musikalischen Periode“. In (Salmen, Walter, Hrsg.): Beiträge zur Geschichte der Musikanschauung im 19. Jahrhundert. G. Bosse, Regensburg, S. 179–187, 1965.

[Kl14] Kleinertz, Rainer: Richard Wagners Begriff der “dichterisch-musikalischen Periode”. Die Musikforschung, 67:26–47, 2014.

[KMK13] Konz, Verena; Müller, Meinard; Kleinertz, Rainer: A Cross-Version Chord Labelling Approach for Exploring Harmonic Structures—A Case Study on Beethoven’s Appassionata. Journal of New Music Research, 42(1):61–77, 2013.

[LGS15] Liem, Cynthia C. S.; Gómez, Emilia; Schedl, Markus: PHENICX: Innovating the Classical Music Experience. In: Proceedings of the IEEE International Conference on Multimedia and Expo Workshops (ICMEW). Turin, Italien, S. 1–4, 2015.

[Lo24] Lorenz, Alfred O.: Der musikalische Aufbau des Bühnenfestspiels Der Ring des Nibelungen. In: Das Geheimnis der Form bei Richard Wagner. M. Hesse, Berlin, 1924.

[Mc14] McVicar, Matt; Santos-Rodriguez, Raúl; Ni, Yizhao; Bie, Tijl De: Automatic Chord Estimation from Audio: A Review of the State of the Art. IEEE/ACM Transactions of Audio, Speech, and Language Processing, 22(2):556–575, 2014.

[MD10] Mauch, Matthias; Dixon, Simon: Simultaneous Estimation of Chords and Musical Context from Audio. IEEE Transactions on Audio, Speech, and Language Processing, 18(6):1280–1289, 2010.

[Mü15] Müller, Meinard: Fundamentals of Music Processing. Springer, Cham, Schweiz, 2015.

[NS06] Noland, Katy; Sandler, Mark: Key Estimation Using a Hidden Markov Model. In: Proceedings of the International Society for Music Information Retrieval Conference (ISMIR). Victoria, Kanada, S. 121–126, 2006.

[PP11] Papadopoulos, Hélène; Peeters, Geoffroy: Joint Estimation of Chords and Downbeats From an Audio Signal. IEEE Transactions on Audio, Speech, and Language Processing, 19(1):138–152, 2011.

[Sa05] Sapp, Craig Stuart: Visual Hierarchical Key Analysis. ACM Computers in Entertainment, 3(4):1–19, 2005.

[SE03] Sheh, Alexander; Ellis, Daniel P.W.: Chord Segmentation and Recognition Using EM-trained Hidden Markov Models. In: Proceedings of the International Society for Music Information Retrieval Conference (ISMIR). Baltimore, USA, S. 185–191, 2003.

[We16] Weiß, Christof; Arifi-Müller, Vlora; Prätzlich, Thomas; Kleinertz, Rainer; Müller, Meinard: Analyzing Measure Annotations for Western Classical Music Recordings. In: Proceedings of the International Conference on Music Information Retrieval (ISMIR). New York, USA, S. 517–523, 2016.

[WH14] Weiß, Christof; Habryka, Julian: Chroma-Based Scale Matching for Audio Tonality Analysis. In: Proceedings of the Conference on Interdisciplinary Musicology (CIM). Berlin, S. 186–173, 2014.

[WKM16] Weiß, Christof; Kleinertz, Rainer; Müller, Meinard: Möglichkeiten der computergestützten Erkennung und Visualisierung harmonischer Strukturen – eine Fallstudie zu Richard Wagners "Die Walküre". In (Auhagen, Wolfgang; Hirschmann, Wolfgang, Hrsg.): Bericht zur Jahrestagung der Gesellschaft für Musikforschung (GfM) 2015 in Halle/Saale. Schott Campus, Mainz, 2016.

[Za17] Zalkow, Frank; Weiß, Christof; Prätzlich, Thomas; Arifi-Müller, Vlora; Müller, Meinard: A Multi-Version Approach for Transferring Measure Annotations Between Music Recordings. In: Proceedings of the AES International Conference on Semantic Audio. Erlangen, 2017.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 219

Musik und Emotion: Ein auf SVM-Klassifikation basierendes anwendungsorientiertes Werkzeug zur Emotionserkennung

Michael Wittland[1], Vincent Raciti[2] und Michael Oehler[3]

Abstract: Produktmarken werden mit emotionalen Eigenschaften verbunden, um ihnen einen persönlichen Charakter zu verleihen. Musik ist ein wichtiges Medium, dem Verbraucher die emotionalen Assoziationen einer Marke zu vermitteln. Zusammen mit TRO Music Services wurde ein Tool entwickelt, welches automatisiert überprüft, ob ein Musikstück zu einer gewünschten Markenpersönlichkeit passt. Grundlage zur Beschreibung der Markenpersönlichkeit bildet das Hevnersche Emotionsmodell [He36]. Ein Datenkorpus von 1831 Musikstücken wurde hierzu von Probanden getaggt. Anschließend wurde damit ein Support Vector Classification Algorithmus trainiert, Emotionstags anhand von akustischen Merkmalen zu erkennen. Der Datenkorpus besteht größtenteils aus professionell produzierter, unveröffentlichter Musik, wie sie auch in Mainstream-Radiosendern gespielt werden könnte. Einerseits werden so die Urteile der Probanden nicht aufgrund außermusikalischer Faktoren, die mit dem Interpreten zu tun haben, beeinflusst, andererseits ist eine größere ökologische Validität als bei Produktionsmusik gewährleistet Bei einer Kategorisierung von Musikstücken in 8 Hevnersche Emotionsdimensionen werden gegenwärtig durchschnittlich etwa 71% der Stücke in jeder Emotionskategorie korrekt klassifiziert.

Keywords: Music Emotion Recognition, Support Vector Classification, Hevner Emotion Model

1 Einleitung

Marken und deren Produkte sind ständige Begleiter in unserem Leben. Wir umgeben uns mit ihnen im Alltag. Die Auswahl der Marken kann hierbei Ausdruck unserer Persönlichkeit und Einstellung sein. Die Form der Bindung, die hierbei entsteht, ist vergleichbar mit einer persönlichen Beziehung: Wir wählen Charaktereigenschaften und emotionale Attribute aus, welche zu uns passen. Die Marke ist neben dem rein sachlichen Wert also auch eine Verbindung menschlicher Eigenschaften, die mit der Marke assoziiert werden. Man spricht dann von einer Markenpersönlichkeit [Aa99]. In der Werbung werden neben den sachlichen Vorteilen eines Produktes, wie Preis und Güte, auch die emotionalen Eigenschaften, also die Markenpersönlichkeit, der dahinterstehenden Marke kommuniziert [La16].

[1] Hochschule Düsseldorf, Gronauer Str. 51, 51063 Köln, mja.wittland@gmail.com
[2] TRO Music Services, Zimmerstr. 19, 40215, vincent@tro.de
[3] Universität Osnabrück, Institut für Musikwissenschaft, Abteilung für Musik und Medientechnologie, Neuer Graben/Schloss, Osnabrück 49074, michael.oehler@uos.de

doi:10.18420/in2017_15

Musik ist in Werbung eine sehr wichtige Komponente für die Erzeugung von Emotionen sein. Die Auswahl der richtigen Musik ist daher von zentraler Bedeutung für das Erschaffen einer Markenpersönlichkeit [Br16]. Die emotionale Interpretation eines Musikstückes ist allerdings meist sehr subjektiv und variiert unter Umständen deutlich von Person zu Person [JS01]. Um Informationen über den emotionalen Gehalt eines Stückes zu gewinnen, werden häufig Probanden in Hörversuchen nach den empfundenen bzw. transportieren Emotionen des Musikstückes befragt. Dies ist jedoch mit nicht unerheblichem Kosten- und Zeitaufwand verbunden, der unter Umständen in einem anwendungsorientierten Kontext Budget und zeitlichen Rahmen überschreitet.

Um dennoch schnell einen möglichst objektiven Blick auf die Emotionen eines Stückes gewinnen zu können, wurde in Zusammenarbeit mit der Musikagentur TRO Music Services ein Tool zur automatisierten Erkennung von Emotionen in Musikstücken mittels maschinellen Lernens entwickelt, welches bezüglich der verwendeten Methoden einerseits den aktuellen Stand der Forschung berücksichtigt ([FR10, BF13]), andererseits bekannte Probleme, wie z.B. die Grenzen der Verallgemeinerbarkeit von Ergebnissen in Abhängigkeit der in den Studien verwendeten Musikkorpora, adressiert. Gerade in Bezug auf die intendierte Anwendungsorientiertheit, d.h. den praktischen Einsatz im Agenturalltag, ist dies ein sehr wichtiger Aspekt.

Die automatisierte Erkennung von Emotionen in Musik ist bereits seit langem ein Bereich des Music Information Retrieval. Es besteht allerdings die Schwierigkeit, dass sich die Güte der Algorithmen kaum vergleichen lässt, da unterschiedliche Emotionsmodelle oder Musikdatenbanken mit unterschiedlichen Genreschwerpunkten verwendet werden. Aus diesem Grund wurde 2007 die *MIREX Mood Classification Task* ins Leben gerufen. Hier werden jährlich neue Emotionsklassifizierungsalgorithmen an einer vorgegebenen Produktionsmusikdatenbank getestet und verglichen. Ähnlich wie in der vorliegenden Arbeit beruht das Emotionsmodell der MIREX Mood Classification Task auf dem Tagging von Emotionsgruppen (Cluster). Tab. 1 zeigt eine Auswahl der besonders gut klassifizierenden Algorithmen der MIREX Task von 2011 bis 2016. Es wurde bei der Auswahl darauf geachtet, dass die Algorithmen nicht nur in einem Bereich gut funktionieren, sondern über alle Emotionskategorien gut klassifizieren. Existieren von einem Autor mehrere Einreichungen, die einen ähnlichen Ansatz verfolgen, so wurde derjenige mit der besten Klassifikationsgenauigkeit oder - bei vergleichbaren Klassifikationsgenauigkeiten - der mit dem neusten Erscheinungsdatum gewählt.

Um eine ungefähre Einschätzung über die Güte des vorliegenden Algorithmus zu erhalten, wurde für dessen Evaluation ebenso wie in der MIREX Mood Task die Klassifizierungsgenauigkeit als Evaluationsmaß verwendet. Da jedoch ein anderes Emotionsmodell und eine andere Musikdatenbank verwendet wurden, ist ein Vergleich mit der MIREX Mood Classification Task nur bedingt möglich. Außerdem durfte bei der MIREX Task nur eine Emotion mit einem Musikstück assoziiert werden, während in dieser Arbeit ein Stück auch mit mehreren Emotionstags verbunden werden kann. Dies erscheint in diesem Kontext sinnvoll um die emotionale Komplexität eines Musikstückes vollständig zu beschreiben.

Emotionskategorien	[SS15]	[Wu13]	[PR13]	[RW15]	[TC11]
Emotionsgruppe 1	55.83	60.00	59.17	62.50	58.33
Emotionsgruppe 2	57.50	57.50	55.83	60.83	55.00
Emotionsgruppe 3	74.17	80.00	85.83	80.83	74.17
Emotionsgruppe 4	55.83	66.67	55.83	63.33	62.50
Emotionsgruppe 5	82.50	77.50	81.67	80.00	85.83
Mittlere Klassifikationsgenauigkeit	**65.17**	**68.33**	**67.67**	**69.50**	**67.17**

Tab. 1: Die besten Ergebnisse der MIREX Mood Classification Task.

Als Klassifikationsmethode für die vorliegende Arbeit wurde ein auf Support Vector Machine (SVM) Klassifikatoren basierendes Modell gewählt. Dieses Modell hat sich in der Musikemotionserkennung bewährt und findet auch in drei der in Tab. 1 aufgeführten Ansätze Verwendung ([PR13, RW15, TC11]). Das akustische Merkmalsset basiert für das Training der SVM in weiten Teilen auf der Studie von Baume et al. [BF14].

1.1 Musikdatenbank

Die Auswahl der Musikdatenbank, mit der die SVM trainiert wird, ist von zentraler Bedeutung. In bisherigen Studien wurde oft entweder ein Korpus populärer Musikstücke (häufig eine Charts-Auswahl), eine Form von Produktionsmusik oder Kombinationen davon verwendet (z.B. [HD08, EL09, SE11, PP12, BF14, AY17]). Während populäre, in den Medien häufig präsente Musik das Problem mit sich bringt, dass die Urteile der Versuchspersonen nicht nur die Musik an sich, sondern unter Umständen auch Eigenschaften des Künstlers/der Band etc. betreffen können, die Bewertung also verzerrt wird, hat Produktionsmusik in vielen Fällen eine nur beschränkte Aussagekraft. Dies liegt u.a. an der speziellen Ausrichtung von Produktionsmusik als Hintergrundmusik in TV-, Film- und Radioproduktionen. Es handelt sich dabei häufig um instrumentale Musik [BF14], d.h. sie entspricht nicht dem überwiegenden Anteil der heute über Radio oder digitale Distributionskanäle konsumierten Musik. Andere Datenkorpora beschränken sich wiederum auf ein Genre [HR09].

Bei der Datenbank von TRO Music Services handelt es sich um ein Archiv von überwiegend in den eigenen Studios bzw. in Lizenz produzierter Musik, die für Film, TV und Werbung verwendet wird. Entgegen des im Zusammenhang mit der MIREX Mood Classification Task verwendeten APM Datenkorpus [HD08], wurde das in der Studie verwendete Datenset noch nie im Bereich der Emotionsklassifikation eingesetzt, die enthaltene Musik ist relativ aktuell. Die Datenbank umfasst ein breites Spektrum an Genres und Verwendungsszenarien und enthält sowohl instrumentale Musik als auch

Musik mit Gesang. Die Länge der Audiofiles variiert dabei zwischen 00:00:03 und 00:22:39 (hh:mm:ss). Das kürzeste Audiofile ist ein Soundlogo, das längste ist ein klassisches Musikstück. Die durchschnittliche Länge beträgt 00:02:50. Entsprechend der anwendungsorientierten Ausrichtung auf eine kommerzielle Verwendung (häufig für Werbung) ist der intendierte Spannungsverlauf jedoch meist eher klein, so dass sich eine relativ unveränderliche Grundstimmung über den ganzen Song ermitteln lässt. Die Datenbank eignet sich daher gut zum Tagging und Training eines Klassifikations-Algorithmus.

1.2 Support Vector Machine

Die Support Vector Machine (SVM) ist ein mathematisches Modell zur Mustererkennung in Datensätzen ([CV95, FC05]). Das Ziel einer SVM ist es, für ein Beobachtungsobjekt (z. B. ein Musikstück) mit Hilfe einer Datenmenge X, welche das Objekt beschreibt, ein gewünschtes Label Y zu erkennen. Support Vector Machines nutzen hierzu die Methode des *überwachten Lernens*: Der Algorithmus wird zunächst mit Daten trainiert, bei denen das Label Y bereits bekannt ist. Anschließend soll das trainierte Modell in der Lage sein, das Label Y bei noch unbekannten Datensätzen nur anhand der beschreibenden Menge X auszugeben. Grundsätzlich gibt es zwei Arten der SVM: Klassifikatoren und Regressoren. Klassifikatoren können lediglich unterscheiden, ob ein Objekt einer gesuchten Klasse angehört oder nicht. Das Label Y kann also nur die Werte 1 und 0 annehmen. Bei Regressoren dagegen wird die Zugehörigkeit eines Objektes zu einer Klasse durch kontinuierliche Werte beschrieben.

1.3 Emotionsmodell

Ein gebräuchliches Modell zur Beschreibung von Emotionen ist das *Circumplex Model of Affect* [Ru80] von James Russell, von dem eine Reihe von Abwandlungen existieren. Bei diesem Modell sind die Emotionen in ein zweidimensionales Koordinatensystem mit den Achsen Valenz (horizontal) und Aktivierung (vertikal) eingeordnet. Die Valenz beschreibt, ob eine Emotion positiv oder negativ belegt ist. Für Werbemusik hat diese Art der Klassifikation allerdings einen entscheidenden Nachteil: Eine Marke wird sich auf der Valenz-Achse nachvollziehbarerweise immer im positiven Bereich positionieren, wodurch diese Dimension ihre Aussagekraft verliert.

Für Musik kommt bei der Einteilung nach Valenz erschwerend hinzu, dass beispielsweise traurige Musik durchaus angenehm, also positiv, ist, während die Emotion Traurigkeit allgemein jedoch dem negativen Bereich der Valenzachse zugeordnet wird [JS08, S.572].

Aus diesen Gründen basiert das Tagging der TRO Datenbank auf dem Emotionsmodell von Kate Hevner. Hevner ließ in einer Studie eine Anzahl von Probanden 66 Adjektive kreisförmig so anordnen, dass Gruppen entstehen, die jeweils einen fließenden Übergang zu den im Kreis benachbarten Gruppen haben. Das so entwickelte Modell setzt sich aus

acht Gruppen kreisförmig angeordneter Adjektive zusammen [He36]. Die Musikagentur TRO verwendet eine reduzierte Variante des Hevnerschen Emotionsmodells mit insgesamt 40 Adjektiven, wobei jede der acht Gruppen fünf Adjektive enthält (siehe Abb. 1). Zudem wurden die Adjektive ins Deutsche übersetzt. Wenn ein Adjektiv mehrere Übersetzungen hatte, wurde darauf geachtet, dasjenige zu wählen, welches der Bedeutungskonnotation der Gruppe am meisten entspricht. Dass die Gruppen nicht vollständig trennscharf sind, zeigt das Adjektiv *lebhaft* welches sowohl in Gruppe 6 als auch in Gruppe 5 auftaucht. Das Adjektiv wurde dennoch beibehalten, um den Emotionsraum der Gruppe adäquat zu beschreiben.

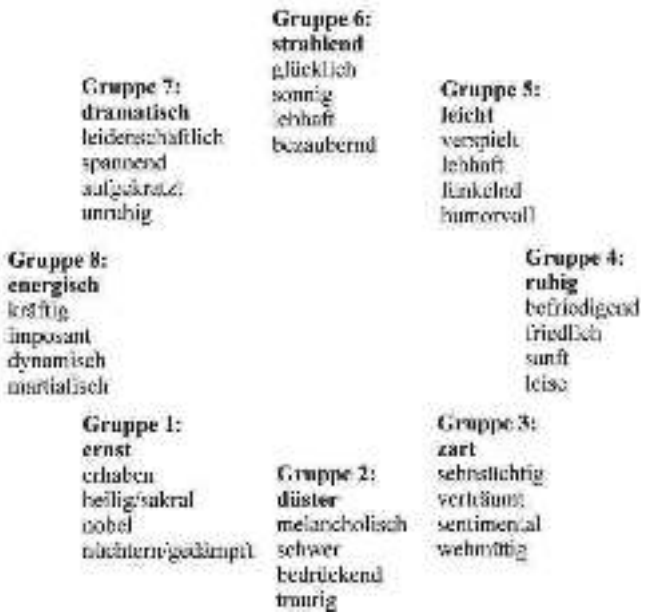


Abb. 1: Das verwendete Emotionsmodell nach [He36].

2 Methode

2.1 Tagging

Die Datenbank von TRO Music Services umfasst insgesamt 1831 Stücke. Jeder Musiktitel ist mit Tags versehen, welche die Emotionen des Stückes mit Hilfe der acht Adjektive aus dem Hevnerschen Emotionsmodel (siehe Kapitel 1.3 *Emotionsmodell*) beschreiben.

Das Tagging wurde von fünf Experten durchgeführt, welche vorher in das Emotionsmodell eingeführt worden waren. Die Experten hatten beim Hören eines Songs fünf Adjektive aus jeder der acht Hevnerschen Emotionsgruppen zur Verfügung. Wurde ein Song mit mindestens zwei Adjektiven einer Emotionsgruppe versehen, so wurde der entsprechende Tag für die Emotionsgruppe vergeben. Ein Musiktitel kann mit mehreren Tags versehen sein. Tab. 2 zeigt die Verteilung der Musikstücke innerhalb der Emotionsgruppen. Durchschnittlich wurden vier Tags pro Musikstück vergeben, wobei zwölf Stücke nur einen Tag und sechs Stücke alle acht Tags erhielten.

	Gruppe 1	Gruppe 2	Gruppe 3	Gruppe 4	Gruppe 5	Gruppe 6	Gruppe 7	Gruppe 8
Gruppe 1: *Ernst*	462	282	266	180	130	157	346	261
Gruppe 2: *Düster*	282	517	308	193	111	107	418	277
Gruppe 3: *Zart*	266	308	1046	728	690	676	384	320
Gruppe 4: *Ruhig*	180	193	728	851	624	605	228	151
Gruppe 5: *Leicht*	130	111	690	624	1133	966	355	495
Gruppe 6: *Strahlend*	157	107	676	605	966	1156	411	550
Gruppe 7: *Dramatisch*	346	418	384	228	355	411	872	611
Gruppe 8: *Energisch*	261	277	320	151	495	550	611	901

Tab. 2: Anzahl der Musikstücke je Emotionsgruppe.

2.2 Musikalische Features

Es existiert eine Vielzahl musikalischer Features zur Beschreibung von Audiodaten. Um eine für das Training relevante Vorauswahl dieser Features zu treffen, orientiert sich die Auswahl an der Studie von Baume et al. (2014) [BF14]. Dort wurde ein Support Vector Regression Algorithmus trainiert, Musikstücke anhand von musikalischen Merkmalen in ein fünfdimensionales Emotionsmodell einzuordnen. Anschließend wurde evaluiert, welche Features zur Klassifikation der Musikstücke besonders aussagekräftig waren.

Da das in dieser Studie verwendete Emotionsmodell nicht mit dem der vorliegenden Arbeit identisch ist, kann man von einer exakten Übereinstimmung der relevanten Features nicht notwendigerweise ausgehen, jedoch kann grundsätzlich eine gewisse Ähnlichkeit der relevanten Merkmale angenommen werden. Ziel war es u.a. die Anzahl der Features bei ausreichender Klassifikationsleistung relativ gering zu halten, um im anwendungsorientierten Kontext eine Zeit- und damit Ressourcenersparnis zu erzielen.

Die musikalischen Features wurden mit der MIRtoolbox unter Verwendung der Standardeinstellungen in MATLAB extrahiert [LT08]. Die nachfolgende Tabelle (Tab. 3) zeigt die Liste der letztlich genutzten Features. Der so ermittelte Trainingsvektor enthält 26 beschreibende Werte pro Song.

Kategorie	**Musikalisches Feature**	**MIRtoolbox Funktion**
Spektral		
	MFCC (13 Coeffs)	mirmfcc
	Flatness	mirflatness
	Spread	mirspread
	Inharmonicity	mirinharmonicity
	Brightness	mirbrightness
	Irregularity	mirregularity
	Centroid	mircentroid
	Rolloff	mirrolloff
Harmonisch		
	Mode (major/minor)	mirmode
Rhythmisch		
	Eventdensity	mireventdensity
	Tempo	mirtempo
	Pulseclarity	mirpulseclarity
Energie		
	RMS Energy	mirrms
Zeitlich		
	Zero-Crossings	mirzerocross

Tab. 3: Die verwendeten musikalischen Features.

2.3 Training des Algorithmus

Da ein Musikstück mehrere Emotionstags haben kann, wurde für jede der acht Emotionsgruppen ein eigener SVM Klassifikator trainiert.

Der gesamte Datensatz ist für manche Emotionsgruppen sehr unausgewogen, d.h. zum Beispiel, dass auf eine kleine Anzahl von Songs innerhalb einer Klasse eine große Anzahl von Songs außerhalb der Klasse kommen (siehe Tab. 1**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Dadurch kann es geschehen, dass die SVM eine scheinbar gute Klassifikationsgenauigkeit erzielt, wenn der Algorithmus alle Songs ausnahmslos außerhalb der Klasse einordnet. Um eine gute Voraussetzung für das Training zu schaffen, wurde daher für jede SVM ein eigener Trainingsdatensatz erstellt. Dieser besteht jeweils zur Hälfte aus Musikstücken innerhalb und zur anderen Hälfte aus Musikstücken außerhalb der zu trainierenden Emotionsgruppe. Um beispielsweise eine SVM für Gruppe 1 des Emotionsmodells (siehe Abb. 1) zu trainieren, wurden alle zu Gruppe 1 gehörigen Songs sowie eine gleich große Anzahl zufällig gewählter Songs, welche nicht Gruppe 1 angehören, in den dafür vorgesehenen Trainingsdatensatz aufgenommen. Durch diese gleiche Verteilung wird nun eine SVM, die alle Songs des Trainingsdatensatzes außerhalb der Emotionsgruppe einordnet für diesen Datensatz durchschnittlich eine Klassifikationsgenauigkeit von nur 50% erzielen. Da die Gesamtzahl der Songs innerhalb jeder der acht Emotionsgruppen unterschiedlich groß ist, variiert auch entsprechend die Größe der Trainingsdatensätze für jede SVM.

Die für das Training der SVM in Matlab verwendete Kernelfunktion ist die gaußsche radiale Basisfunktion. Um zu vermeiden, dass Features mit großen Werten andere Features mit kleineren Werten dominieren, wurden die Werte der Features außerdem vor dem Training standardisiert.

Zur Evaluation des SVM Klassifikators wurde während des Trainings die Methode der k-fachen Kreuzvalidierung verwendet. Die Kreuzvalidierung wurde an jeder SVM mit den k={10, 8, 6, 4} durchgeführt. Als Maß für die Genauigkeit der SVMs wurde die arithmetisch gemittelte Klassifizierungsgenauigkeit der vier Kreuzvalidierungen mit unterschiedlichen k-Werten gewählt (Tab. 4).

3 Ergebnisse

In der nachfolgenden Tabelle (Tab. 4) ist das Ergebnis des Trainings dargestellt. Spalte 3 zeigt das gemittelte Ergebnis der Kreuzvalidierungen. In der zweiten Spalte ist die Größe des Trainingssets für jede Emotionsgruppe angegeben.

Emotions-gruppe	Größe des Trainingssets	mittlere Genauigkeit [%]
Gruppe 1	924	71,61
Gruppe 2	1034	70,23
Gruppe 3	1570	72,06
Gruppe 4	1702	73,61
Gruppe 5	1396	69,63
Gruppe 6	1350	68,57
Gruppe 7	1744	69,21
Gruppe 8	1802	76,26

Tab. 4: Die Klassifikationsgenauigkeit der SVMs.

Zusätzlich wurden die verwendeten musikalischen Features mit Hilfe einer Variante der *Forward Selection Wrapper Methode* [KJ97] auf ihre Relevanz für die Klassifikationsgenauigkeit des Algorithmus untersucht. Hierzu wird jedes Feature einzeln zum Training der SVM verwendet. Das Feature, welches das beste Ergebnis erzielt, wird in das noch leere Featureset mit aufgenommen. Anschließend wird das Featureset in Kombination mit jedem der verbleibenden Features getestet. Das Feature welches in Kombination mit dem Set die beste Klassifikation erzielt, wird neu in das Set aufgenommen. Dieser Vorgang wird wiederholt bis alle Features in das Set aufgenommen sind. Zeigt das Featureset ab einer gewissen Anzahl an Features keine Verbesserung im Training mehr, werden die verbleibenden Features für die Klassifikation als nicht relevant angenommen. Alle verwendeten Features trugen jedoch der Forward Selection Methode zufolge bei allen SVMs zur Verbesserung der Klassifikationsgenauigkeit bei.

Um zu überprüfen, ob größere Samplezahlen voraussichtlich eine deutliche Verbesserung der Klassifikationsgenauigkeit erzielen, wurde der Algorithmus außerdem in jeder der acht Emotionskategorien mit einer immer kleiner werdenden Anzahl von Songs trainiert. Für jede Samplegröße wurden mehrere 10-fache Kreuzvalidierungen durchgeführt.

Das Ergebnis zeigt, dass die Klassifikationsrate je nach Emotionskategorie von der maximalen Samplezahl bis zu einer Samplezahl von etwa 300-500 Songs je nach Emotionsgruppe gleichbleibend ist. Dann verschlechtern sich die Klassifikationsraten und die Ergebnisse der Kreuzvalidierungen. Bei Gruppe 7 verschlechterte sich die Klassifikation von Beginn an relativ kontinuierlich. Da das Ergebnis mit einer k-fachen Kreuzvalidierung ermittelt und somit das Training bei der Evaluierung mit k -1 Subsets des ganzen Datensatzes durchgeführt wurde, sind die für das Training notwendigen Samplegrößen, um die vorliegende Klassifikationsgenauigkeit zu erzielen, eher geringer.

4 Fazit

Mit Hilfe von Support Vector Klassifikatoren konnte ein Algorithmus mit dem Hevnerschen Emotionsmodell trainiert werden. Es wurde ein neues, anwendungsorientiertes und ökologisch valides Datenkorpus verwendet. Die Klassifikationsgenauigkeit des trainierten Algorithmus variiert je nach Emotion zwischen rund 69% und 76% korrekter Klassifikation. Es ist anzunehmen, dass - außer in Emotionsgruppe 7 - größere Samplezahlen das Trainingsergebnis nicht maßgeblich verbessern.

Literaturverzeichnis

[Aa99] Aaker, J. L.: Dimensionen der Markenpersönlichkeit. In: Moderne Marktführung. Gabler Verlag, S. 91-102, 1999.

[AY17] Aljanaki, A.; Yang, Y. H.; Soleymani, M.: Developing a benchmark for emotional analysis of music. PloS one 12(3), 2017.

[BF13] Barthet, M.; Fazekas, G.; Sandler, M.: Music Emotion Recognition: From Content to Context-Based Models. From Sounds to Music and Emotions, Springer, S. 228–252, 2013.

[BF14] Baume, C.; Fazekas, G.; Barthet, M.; Marston, D.; Sandler, M.: Selection of Audio Features for Music Emotion Recognition Using Production Music. AES 53rd International Conference, London 2014.

[Br16] Bronner, K.: Schöner die Marken nie klingen... Jingle all the Way? Grundlagen des Audio-Branding. Audio-Branding. Nomos, S. 50-69, 2016.

[CV95] Cortes, C.; Vapnik, V.: Support-vector networks. Machine learning 20(3), S. 273-297, 1995.

[EL09] Eerola, T.; Lartillot, O.: Prediction of multidimensional emotional ratings in music from audio using multivariate regression models. 10th International Society for Music Information Retrieval Conference, S. 621–626, 2009.

[FC05] Fan, R. E.; Chen, P. H.; Lin, C. J.: Working set selection using second order information for training support vector machines. Journal of machine learning research, 6(Dec), S. 1889-1918, 2005.

[FR10] Fazekas, G.; Raimond, Y.; Jacobson, K.; Sandler, M.: An overview of semantic web activities in the OMRAS2 project. Journal of New Music Research 39(4), S. 295–311, 2010.

[HD08] Hu, X.; Downie, J. S.; Laurier, C.; Bay, M.; Ehmann, A. F.: The 2007 MIREX audio mood classification task: Lessons learned. 9th International Society for Music Information Retrieval Conference, S. 462–467, 2008.

[He36] Hevner, K.: Experimental Studies of the Elements of Expression in Music. The American Journal of Psychology Vol. 48, S. 246-268, 1936.

[HR09] Han, B.; Rho, S; Dannenberg, R.; Hwang, E.: SMERS: Music Emotion Recognition Using Support Vector Regression. 10th International Society for Music Information Retrieval Conference, 2009.

[JS01] Juslin, P. N.; Sloboda, J. A.: Music and emotion: Theory and research. Oxford University Press, 2001.

[KJ97] Kohavi, R.; John, G. H.: Wrappers for feature subset selection. Artificial Intelligence 97, S. 273-324, 1997.

[La16] Lange, A.: Markenpersönlichkeit. Der Einfluss unbekannter Werbegesichter auf die Wahrnehmung der Markenpersönlichkeit, Springer Fachmedien Wiesbaden, S. 17-28, 2016.

[LT08] Lartillot, O.; Toiviainen, P.; Eerola, T.: A matlab toolbox for music information retrieval. Data analysis, machine learning and applications, Springer, S. 261-268, 2008.

[JS08] Juslin, P.; Sloboda, J.: Emotional responses to music. Behavioral and Brain Sciences 31(5), S. 559-575, 2008.

[TC11] Tardieu, D.; Charbuillet, C.; Cornu, F.; Peeters, F.: MIREX 2011: Single-Label and Multi-Label Classification Tasks http://www.music-ir.org/mirex/abstracts/2011/TCCP4.pdf, Stand: 02.09.2011.

[PP12] Panda, R.; Paiva, R. P.: Music Emotion Classification: Dataset Acquisition and Comparative Analysis. 15th International Conference on Digital Audio Effects (DAFx), S. 1–7, York, UK, 2012.

[PR13] Panda, R.; Rocha, B.; Paiva, R. P.: MIREX 2013: Mood Classification Task Submission. http://www.music-ir.org/mirex/abstracts/2013/PRP3.pdf. Stand: 08.09.2013

[Ru80] Russell, J.: A Circumplex Model of Affect. Journal of Personality and Social Psychology Vol. 39 No. 6, S. 1161-1178, 1980.

[RW15] Ren, J.; Wu, M.; Jang, J. R.: Automatic Music Mood Classification Based on Timbre and Modulation Features. IEEE 6(3), S. 236–246, 2015.

[SE11] Saari, P.; Eerola, T.; Lartillot, O.: Generalizability and Simplicity as Criteria in Feature Selection: Application to Mood Classification in Music. IEEE Transactions on Audio, Speech and Language Processing, 19(6): S. 1802–1812, 2011.

[SS15] Seyerlehner, K.; Schedl, M.: MIREX 2014 Optimizing the Fluctuation Pattern Extraction Process. MIREX. http://www.music-ir.org/mirex/abstracts/2014/SS6.pdf, Stand: 04.02.2015

[Wu13] Wu, M: MIREX 2013: Submission for Train/Test Tasks (Draft). MIREX. http://www.music-ir.org/mirex/abstracts/2013/JJ1.pdf, Stand: 31.10.13.

7,5. HDI-Workshop des GI-Fachbereichs Informatik und Ausbildung / Didaktik der Informatik

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 233

Hochschuldidaktik der Informatik

7,5. HDI-Workshop des GI-Fachbereichs Informatik und Ausbildung / Didaktik der Informatik

Ulrik Schroeder[1], Andreas Schwill[2]

Abstract: Der 7,5. HDI-Workshop für Hochschuldidaktik der Informatik beschäftigte sich mit hochschuldidaktischen Fragen und der Gestaltung von Studiengängen der Informatik. Thema des Workshops waren alle Fragen, die sich der Vermittlung von Informatik im Hochschulbereich widmen.

Keywords: Didaktik der Informatik an Hochschulen.

Überblick des Workshops

Mit dem 7,5. HDI-Workshop für Hochschuldidaktik der Informatik haben wir das erfolgreiche Modell der zweijährlichen HDI-Fachtagung, die sich mit hochschuldidaktischen Fragen und der Gestaltung von Studiengängen der Informatik beschäftigt, um einen Workshop erweitert, der nun ebenfalls zweijährlich im Wechsel stattfinden soll.

Thema des Workshops waren alle Fragen, die sich der Vermittlung von Informatik im Hochschulbereich widmen. Dazu gehörten u.a.: fachdidaktische Konzepte der Vermittlung von Informatik, methodische Lösungen, wie spezielle Lehr- und Lernformen, Durchführungskonzepte, empirische Ergebnisse und Vergleichsstudien, E-Learning-Ansätze, wenn sie ein erkennbares didaktisches Konzept verfolgen, Studienkonzepte und Curricula, organisatorische Fragen, wie Gewinnung von Studierenden, Studieneingangsphase, Abbrecher, Genderaspekte.

Der Workshop widmete sich ausgewählten Fragestellungen dieses Themenkomplexes, die durch zwei eingeladene Vorträge zu den neuen GI-Empfehlungen für Informatik-Studiengänge (Jörg Desel) und zur automatischen Bewertung von Programmieraufgaben (Michael Goedicke) sowie durch sechs eingereichte Beiträge intensiv behandelt wurden.

[1] RWTH Aachen, Informatik 9 - Lerntechnologien, Ahornstr. 55, 52074 Aachen, schroeder@informatik.rwth-aachen.de
[2] Universität Potsdam, Institut für Informatik, August-Bebel-Str. 89, 14482 Potsdam, schwill@cs.uni-potsdam.de

doi:10.18420/in2017_16

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 235

Die Entwicklung neuer GI-Empfehlungen für Informatik-Studiengänge

Jörg Desel[1]

Abstract: Die neuen GI-Empfehlungen für Bachelor- und Masterprogramme im Studienfach Informatik an Hochschulen werden aus der Sicht eines Koautors vorgestellt. Neben aktualisierten Inhalten verwenden diese Empfehlungen ein neuartiges Kompetenzmodell zur differenzierten Beschreibung von vermittelten Kompetenzen auf der Ebene einzelner Inhaltsbereiche. Auf diese Weise können Studiengänge verschiedener Hochschulen und Hochschultypen sowie die vermittelten Kompetenzen auf einheitliche Weise und dennoch differenziert dargestellt werden.

Keywords: Informatik-Studiengänge, Empfehlungen, Kompetenzmodell

1 Einleitung

Die Gesellschaft für Informatik hat vor etwa Jahr neue „Empfehlungen für Bachelor- und Masterprogramme im Studienfach Informatik“ [GI16] herausgegeben und damit die gleichnamigen früheren Empfehlungen aus dem Jahre 2005 [GI05] aktualisiert bzw. ersetzt. Die Empfehlungen wurden, wie auch die früheren Empfehlungen, von der GI-Fachgruppe ISH (Informatik in Studiengängen an Hochschulen) im Fachbereich IAD (Informatik und Ausbildung / Didaktik der Informatik) erarbeitet und vom GI-Präsidium verabschiedet. Die GI setzt damit erneut Leitlinien für Ziele, Inhalte und Niveau der Bachelor- und Master-Programme im Studienfach Informatik, die von Hochschulen im deutschsprachigen Raum zur Neu- oder Weiterentwicklung ihrer Studiengänge genutzt und von Akkreditierungsagenturen bei der Beurteilung von Studiengängen berücksichtigt werden. Dieser Beitrag stellt die neuen Empfehlungen aus Sicht eines Koautors vor und berichtet dabei auch über einige Aspekte ihres Entstehungsprozesses.

2 Warum neue Empfehlungen für Informatik-Studiengänge?

Die Informatik hat sich in den vergangenen 12 Jahren weiterentwickelt. Neue Themen sind in den Vordergrund getreten, andere haben vielleicht an Wichtigkeit verloren. Viele Hochschulen haben deshalb die Inhalte ihrer Studienprograme verändert, um den Absolventen in der Praxis relevante Kompetenzen zu vermitteln bzw. sie auf aktuell gefragte Forschungstätigkeiten vorzubereiten. An vielen Hochschulen wurden neue Spezialisierungen eingeführt, die entweder unter „Informatik“ firmieren oder neue Inhalte als Namen von Studiengängen betonen. Diese inhaltliche Weiterentwicklung war

[1] FernUniversität in Hagen, 58084 Hagen, joerg.desel@fernuni-hagen.de, Sprecher der GI-Fachgruppe ISH

doi:10.18420/in2017_17

ein Grund für eine neue Auflage der GI-Empfehlungen für Informatikstudiengänge. Sie wurde bei der Entwicklung der neuen Empfehlungen aufgegriffen und berücksichtigt. Eine weitere Quelle waren die Curricula Recommendations der ACM / IEEE [ACM13], die aber aufgrund der Unterschiede der Bildungssysteme in Deutschland und in den USA bewusst nicht kopiert wurden.

Ein weiteres, wichtiges Motiv für neue Empfehlungen war die (Entwicklung und) Verwendung eines Modells zur Beschreibung der Kompetenzen, über die Absolventen der jeweiligen Studiengänge verfügen sollen. Mit diesem Modell wurde es erstmals möglich, zu jedem Inhaltsbereich im Sinne der „Output-Orientierung“ deutlich zu machen, welche Minimalstandards Studenten erwerben sollen, und welche darüberhinausgehenden Kompetenzen möglich oder wünschenswert sind. Da auch Studiengangsbeschreibungen und insbesondere ihre Modulhandbücher kompetenzorientiert sein soll(t)en, ist so ein Abgleich der so beschriebenen Studiengänge mit den in den Empfehlungen formulierten Standards möglich.

3 Kompetenz- und Inhaltsbereiche der Empfehlungen

Die Inhaltsbereiche und die zugehörigen Kompetenzen werden in den Empfehlungen abgeleitet aus Anforderungen aus der Perspektive des Arbeitslebens. Dabei werden nicht nur gegenwartsnahe Inhalte betrachtet, sondern insbesondere auch theoretisch untermauerte Konzepte und Methoden, die über aktuelle Trends hinweg Bestand haben und zum lebenslangen Lernen befähigen. Anforderungen, die durch den Auftrag an die Hochschulen zur Heranbildung des wissenschaftlichen Nachwuchses und der Gewinnung wissenschaftlicher Erkenntnisse entstehen, werden angemessen berücksichtigt. Die Kompetenzbereiche und ihre zugehörigen Inhaltsbereiche lauten:

Formale, algorithmische und mathematische Kompetenzen

- Diskrete Strukturen und Algebra
- Analysis und Numerik
- Wahrscheinlichkeitstheorie und Statistik
- Formale Sprachen und Automaten
- Modellierung
- Algorithmen und Datenstrukturen

Analyse-, Entwurfs-, Realisierungs- und Projektmanagement-Kompetenzen

- Programmiersprachen und -methodik
- Software-Engineering
- Mensch-Computer-Interaktion
- Projekt- und Teamkompetenz

Technologische Kompetenzen

- Digitaltechnik und Rechnerorganisation
- Betriebssysteme
- Datenbanken und Informationssysteme
- Rechnernetze und verteilte Systeme
- IT-Sicherheit

Fachübergreifende Kompetenzen

- Gesellschaftliche und berufsethische Aspekte von Informatiksystemen im Anwendungskontext
- Ökonomische und ökologische Aspekte von Informatiksystemen im Anwendungskontext
- Rechtliche Aspekte von Informatiksystemen im Anwendungskontext

Methoden und Transferkompetenz

- Strategien des Wissenserwerbs und der wissenschaftlichen Weiterbildung
- Analyse von Informatiksystemen in ihrem Anwendungskontext
- Implementierungs- und Evaluationsstrategien

Soziale Kompetenzen und Selbstkompetenzen

- Kooperationsmanagement
- Diversity- und Konfliktmanagement
- Organisationsentwicklung

Es fällt vielleicht auf, dass einige Inhaltsbereiche typische Namen von Vorlesungen bzw. von Modulen tragen. Manches gehört zum langjährigen Standard der Informatik-Ausbildung. Andere Begriffe, wie zum Beispiel *IT-Sicherheit*, sind heute aktueller und deshalb stärker im Fokus als noch vor einigen Jahren. Die zuletzt genannten Kompetenz- und ihre Inhaltsbereiche werden typischerweise nicht direkt in dazugehörigen Veranstaltungen gelehrt, sondern sollten durch entsprechende Lehrformen in Modulen für andere Inhalte berücksichtigt werden.

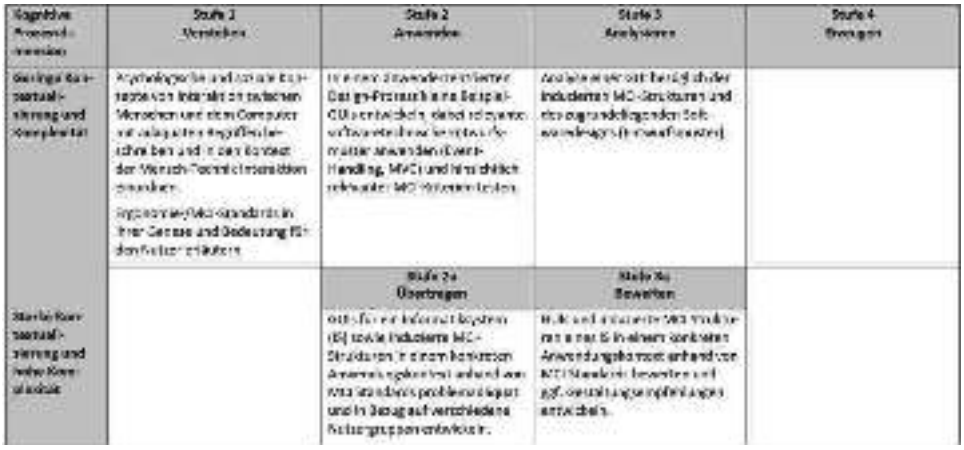
Bei der Erstellung der Empfehlungen haben die Autoren lange darüber diskutiert, dass ein gesamtes Studium mehr ist als die Summe seiner Module. Bei der Kompetenzauflistung sollten auch die Kompetenzen einen entsprechenden Stellenwert haben, denen man keine entsprechenden Module zuordnen kann, die man aber bei Absolventen des gesamten Studiengangs voraussetzt. Deshalb sind die Kompetenz- und Inhaltsbereiche auch nicht als Konstruktionsvorschrift für ein Curriculum gedacht, in dem alle Inhaltsbereiche vorkommen. Stattdessen bieten sie Raum für kreative Lösungen, verschiedene Kompetenzen durch dasselbe Modul oder modulübergreifend zu vermitteln.

4 Kompetenzmodell und seine Anwendung für Bachelor-Studiengänge

Während in den früheren GI-Empfehlungen ein Modulkanon die Inhaltsbereiche für Bachelor-Studiengänge genauer spezifizierte, wurde für die neuen Empfehlungen ein Kompetenzmodell entwickelt, das die erwarteten Kompetenzen und auch deren Kontextualisierung berücksichtigt. Eine detaillierte Beschreibung des Modells findet man in den Empfehlungen und in [Li13]. Das Kompetenzmodell orientiert sich an der sogenannten Anderson Krathwohl Taxonomy (AKT-Matrix), reduziert diese aber erheblich, so dass nur für Bachelor-Studiengänge relevante Kompetenzen verbleiben, und diese übersichtlich dargestellt werden. Die reduzierte Matrix adressiert (als Spalten) vier Stufen der Kognitiven Prozessdimension: *Verstehen*, *Anwenden*, *Analysieren* und *Erzeugen*. Zwei Zeilen beschreiben Art und Komplexität des jeweiligen Kontextes, in dem Kompetenzen erworben werden: *ohne Kontextualisierung*, *kleine Beispiele* (jeweils einzutragen in der ersten Zeile), sowie *komplexere Beispiele*, *interne Projekte*, *betriebliche Projekte* (zweite Zeile). In der zweiten Zeile sind Eintragungen für die Prozessdimensionen *Verstehen* und *Erzeugen* nicht vorgesehen, so dass sich die möglichen Eintragungen der Kompetenzen auf sechs Felder der Matrix beschränken.

In früheren Empfehlungen wurden Profile von Studiengängen durch die Begriffe *stärker forschungsorientiert* oder *stärker anwendungsorientiert* charakterisiert. Sofort fällt die gewollte Zuordnung zu Universitäten bzw. zu (früheren) Fachhochschulen auf. Diese Zuschreibung von Merkmalen an Studiengänge bzw. Hochschultypen wurde bei der Erstellung der neuen Empfehlungen als wenig hilfreich und auch als nicht zutreffend angesehen. So wird auch an Universitätsstudiengängen nicht jeder Inhaltsbereich so gelehrt, dass die Absolventen unmittelbar für die Forschung qualifiziert wären, während auch Studiengänge an Hochschulen forschungsorientierte Schwerpunkte haben können. Zudem suggerieren die Begriffe, dass Universitätsabsolventen weniger qualifiziert für die Anwendungsbereiche seien, obwohl der überwiegende Teil nach Abschluss des Studiums nicht unmittelbar in der Forschung arbeitet. Die tatsächlichen Typen wissenschaftlichen Arbeitens, vom *Kennen und Verstehen von Konzepten und Methoden* bis zu *Eigenständig die Konzepte und Methoden eines Forschungsgebietes um anspruchsvolle Beiträge erweitern und in der Fachöffentlichkeit verteidigen (Promotion)* lassen sich durch Angabe von Stufe(n) der Prozessdimension und Art(en) der Kontextualisierung in die oben genannte Kompetenzmatrix einordnen und so genauer spezifizieren. Zudem geschieht dies nicht auf Ebene eines kompletten Studiengangs, sondern für die einzelnen genannten Inhaltsbereiche. Die neuen Empfehlungen enthalten entsprechende Kompetenztabellen für 17 Inhaltsbereiche, die sich kognitiven Kompetenzen zuordnen lassen. Erwähnenswert ist, dass *Informatik als Disziplin* ein eigener Inhaltsbereich ist, der die modulübergreifenden Kompetenzen eines gesamten Informatikstudiums darstellt.

Exemplarisch sei die Kompetenzmatrix für den Inhaltsbereich Mensch-Computer-Interaktion angegeben:



Tab. 1: Kompetenzmatrix für Mensch-Computer-Interaktion

Für nichtkognitive Kompetenzen (*Selbststeuerungskompetenz*, *Kooperationskompetenz*, *Lernkompetenz*, *Empathie*, …) eignet sich die Matrix weniger gut, deshalb werden sie in den Empfehlungen durch Stichworte skizziert. Sie werden in Lernprozessen und primär implizit erworben und müssen bei der Gestaltung von Studiengängen und darin verwendeten Modulen mitberücksichtigt werden.

5 Weitere Inhalte der Empfehlungen

Die Empfehlungen enthalten ein Kapitel zu organisatorischen und strukturellen Anforderungen an die Studiengangsgestaltung. Hier geht es insbesondere um die Typisierung von Studiengängen und um eine zutreffende und nicht missverständliche Namensgebung, insbesondere für interdisziplinäre Studiengänge und für Studiengänge, die Teilaspekte der Informatik in den Vordergrund stellen. Insbesondere geht es auch darum, den Namen *Informatik* dahingehend zu schützen, dass „echte“ Informatikstudiengänge einige Mindestanforderungen bezüglich Umfang und fachlicher Tiefe zu erfüllen haben. Dieser Umfang übersteigt die Summe der durch die Kompetenzbeschreibungen definierten Mindestanforderungen deutlich, denn jeder Studiengang soll ein eigenständiges Profil bieten, das auch durch punktuell höhere Kompetenzen in der Kompetenzmatrix dargestellt werden kann. Hinzu kommt die Forderung nach angemessenen Wahlmöglichkeiten durch alternative Vertiefungsangebote.

Um auch die nichtkognitiven Kompetenzen abzudecken, enthalten die Empfehlungen Vorschläge für unterschiedliche Lehrformen mit entsprechend unterschiedlichen Prüfungsformen. Weitere Aspekte zur Studiengangsgestaltung finden sich unter den Überschriften *Teilzeitstudiengänge*, *Studieneingangsphase*, *Modularisierung*, *Leistungspunkte*, *lebenslanges Lernen*, sowie in einem Kapitel zur Qualitätssicherung in der Lehre.

6 Abschluss

Die neuen Empfehlungen sind entstanden in einem Arbeitskreis, der faktisch mit dem Leitungsgremium der Fachgruppe ISH übereinstimmt. Dieser Arbeitskreis hat sich über viele Jahre hinweg regelmäßig getroffen und die neue Struktur, das Kompetenzmodell und die Inhalte erarbeitet. Der Arbeitskreis wurde geleitet von Olaf Zukunft, der auch Sprecher der Fachgruppe war, und bestand aus den weiteren Mitgliedern Jörg Desel, Egbert Falkenberg, Peter Forbrig, Uwe Kastens, Jochen Koubek, Johannes Magenheim, Günter Siegel und Karsten Weicker, alle Hochschullehrer an Universitäten oder Hochschulen für Angewandte Wissenschaften. Die Arbeit wurde unterstützt von weiteren Fachexperten der verschiedenen Kompetenzbereiche und entsprechenden Fachgruppen der GI. Die Empfehlungen wurden in einem iterativen Prozess abgestimmt mit dem Fakultätentag Informatik (für Universitätsstudiengänge, koordiniert durch Uwe Kastens) sowie mit dem Fachbereichstag Informatik (für Studiengänge an anderen Hochschulen, koordiniert durch Olaf Zukunft). Durch die Zusammensetzung des Arbeitskreises ist es gelungen, die Empfehlungen so zu formulieren, dass sich Vertreter beider Hochschultypen angemessen berücksichtigt sehen, ohne Unterscheidungsmerkmale der Hochschultypen sowie einzelner Hochschulen bzw. einzelner Studiengänge zu verwischen.

Olaf Zukunft hat nicht nur die Leitung des Arbeitskreises übernommen, sondern auch die aufwändige Redaktion der Empfehlungen geleistet. Ich habe in diesem Beitrag einige Passagen aus diesem Dokument übernommen. Johannes Magenheim hatte die Federführung bei der Entwicklung des Kompetenzmodells.

Die GI-Fachgruppe ISH arbeitet kontinuierlich weiter an Aspekten der Informatikstudiengänge im deutschsprachigen Raum. Aktuell stehen kompetenzbasierte Prüfungen auf der Agenda, wieder mit dem Ziel gemeinsamer Standards und Empfehlungen. Zudem wird beobachtet und analysiert, wie die neuen Empfehlungen bei der Gestaltung von Studiengängen sowie bei Akkreditierungsverfahren eingesetzt werden. Erfahrungen aus den Anwendungen der Empfehlungen dienen insbesondere auch der Evaluation der neuartigen Kompetenzbeschreibungen und gegebenenfalls ihrer Weiterentwicklung.

Literaturverzeichnis

[ACM13] The Joint Task Force on Computing Curricula Association for Computing Machinery (ACM) IEEE Computer Society: Computer Science Curricula 2013

[GI05] GI e.V.: Empfehlungen der Gesellschaft für Informatik e.V. (GI) für Bachelor- und Masterprogramme im Studienfach Informatik an Hochschulen. Dezember 2005.

[GI16] GI e.V.: Empfehlungen der Gesellschaft für Informatik e.V. (GI) für Bachelor- und Masterprogramme im Studienfach Informatik an Hochschulen. Juli 2016.

[Li13] Linck, B. et al: Competence model for informatics modelling and system comprehension. In: Proceedings of the 4th global engineering education conference, IEEE EDUCON 2013 (S. 85-93). Berlin 2013

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 241

Kompetenzbasierte Gestaltungsempfehlungen für Informatik-Tutorenschulungen[1]

Holger Danielsiek[2] , Peter Hubwieser[3] , Johannes Krugel[3] , Johannes Magenheim[4] , Laura Ohrndorf[4] , Daniel Ossenschmidt[5] , Niclas Schaper[5] und Jan Vahrenhold[2]

Abstract: Der Artikel stellt Zielsetzungen, Forschungsmethoden und ausgewählte Ergebnisse des Projekts KETTI (Kompetenzerwerb von Tutorinnen und Tutoren in der Informatik) vor. Ziel des durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderten Projekts ist es, zur Qualitätsverbesserung der Lehre in Informatiklehrveranstaltungen an Hochschulen beizutragen, indem Tutorinnen und Tutoren in die Lage versetzt werden, selbstständige erkenntnisfördernde Lernprozesse der Studierenden zu initiieren. Dazu wurden auf der Grundlage empirischer Untersuchungen relevante Bedingungsfaktoren für derartige Lernprozesse ermittelt und darauf aufbauend ein spezifisches Kompetenzmodell samt Messinstrument entwickelt. Dieses Kompetenzmodell liefert wichtige Hinweise zur inhaltlichen und methodischen Gestaltung von Tutorenschulungen im Fach Informatik; diese Hinweise wurden für die prototypische Entwicklung und Evaluation von Tutorenschulungen umgesetzt. Das Projekt konzentrierte sich dabei auf in den ersten beiden Fachsemestern angesiedelte Veranstaltungen zur objektorientierten Programmierung und zu Algorithmen und Datenstrukturen.

Keywords: Hochschuldidaktik; Informatiktutorenschulung; Kompetenzmodell; Kompetenzmessung; Schulungskonzept

1 Einleitung

Im Projekt KETTI (Kompetenzerwerb von Tutorinnen und Tutoren in der Informatik), das an der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster, der Universität Paderborn und der Technischen Universität München durchgeführt wird, soll u.a. ein theoretisch fundiertes und empirisch gestütztes Konzept für die Schulung von Tutorinnen und Tutoren im Fach Informatik entwickelt werden. Die Zielsetzungen und die methodische Gestaltung des Schulungskonzepts sollen sich an einem im Projekt erarbeiteten Kompetenzmodell für Tutorinnen und Tutoren orientieren. Zur Begründung des Kompetenzmodells wurden theoriegeleitete empirische Analysen zu organisatorischen und inhaltlichen Rahmenbedingungen

[1] Die in diesem Beitrag beschriebenen Arbeiten wurden mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 01PB14007A, Projekt KETTI – Kompetenzerwerb von Tutorinnen und Tutoren in der Informatik, gefördert.

[2] Westfälische Wilhelms-Universität Münster, Insititut für Informatik, {holger.danielsiek,jan.vahrenhold}@wwu.de

[3] Technische Universität München, TUM School of Education, {peter.hubwieser@tum.de, krugel@in.tum.de}

[4] Universität Paderborn, Institut für Informatik, {jsm,laura,ohrndorf}@upb.de

[5] Universität Paderborn, Institut für Humanwissenschaften, {daniel.ossenschmidt,niclas.schaper}@upb.de

doi:10.18420/in2017_18

in relevanten Tätigkeitsfeldern sowie der Lernvoraussetzungen der von ihnen zu betreuenden Zielgruppe von Informatikstudierenden vorgenommen.

2 Analyse relevanter Praxisfelder und subjektiver Voraussetzungen

In der ersten Projektphase wurde der Status quo des Lehr- und Lerndesigns in Einführungsveranstaltungen in der Informatik erhoben, zudem wurden Lernprozesse und -voraussetzungen von Informatikstudierenden und in Tutorenschulungen analysiert. In Abstimmung mit den Projektpartnern wurde hierfür der Begriff des *Tutoriums* wie folgt eingegrenzt:

> *Ein Tutorium ist eine Lehrveranstaltung, die von nicht-eigenständig Lehrenden durchgeführt wird, administrativ einer anderen Lehrveranstaltung zugeordnet und inhaltlich von dieser abhängig ist.*

Es sei explizit darauf hingewiesen, dass diese Definition keine Annahmen über die konkrete Ausgestaltung eines Tutoriums (etwas als Gruppenübung, Hörsaalübung oder Repetitorium) macht. Die Definition subsumiert somit ein breites Spektrum tutorieller Lehre.

2.1 Analyse des Lehr- und Lerndesigns in Einführungsveranstaltung

In einem ersten Schritt wurden an acht deutschen Universitäten Experteninterviews mit Dozentinnen und Dozenten, wissenschaftlichen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern und studentischen Tutorinnen und Tutoren durchgeführt (siehe Tabelle 1), die Einführungsveranstaltungen in der Informatik gehalten und betreut haben. Die Interviews wurden transkribiert und mit der Qualitativen Inhaltsanalyse nach Mayring [Ma00] ausgewertet.

Das Ziel lag hier insbesondere darin, das Rollenverständnis, die Einstellung und die Vorerfahrung der Tutorinnen und Tutoren zu ermitteln. Zusätzlich konnten wertvolle Informationen zu der Organisation des Tutorenbetriebs gewonnen werden. So gibt es an den Standorten große Unterschiede in den Einführungsveranstaltungen in der Informatik, die sich insbesondere in deren Organisation zeigen (z.B. durch das Vorhandensein von offenen Sprechstunden), aber auch bei der Größe und insbesondere der Gestaltung von Tutorien (z.B. Übungsaufgaben besprechen oder unbekannte Aufgaben unter Anleitung lösen).

In Bezug auf das Rollenverständnis und die Einstellungen ergab die qualitative Analyse, dass sich bei den studentischen Tutorinnen und Tutoren entweder ein überwiegend studierendenzentriert-konstruktivistisches oder ein überwiegend tutorenzentriert-transmissives Verständnis von Lehren und Lernen auffinden lässt; ersteres gilt generell als förderlicher für effektives Lehrhandeln [KBB11, Wi04]. Die Ausrichtung des Lehr-Lernverständnisses der studentischen Tutorinnen und Tutoren steht laut Analyse in Zusammenhang mit der Hochschulzugehörigkeit und dem Gestaltungsrahmen der Tutorien: in Tutorien, die nicht

Art der Umfrage / Untersuchung	Anzahl Teilnehmerinnen und Teilnehmer								
	M	MS	PB	BS	DO	HD	OS	P	Σ
Interviews mit Dozentinnen und Dozenten	1	1	1	1	1	1	1	1	8
Interviews mit Übungskoordinatorinnen und -koordinatoren	1	–	–	1	–	–	2	–	4
Interviews mit Tutorinnen und Tutoren	8	2	2	–	3	4	6	1	26

Tab. 1: Zu Projektbeginn (Januar–April 2015) durchgeführte Interviews zu Lehr-/Lerndesigns in Einführungsveranstaltungen (Standorte M = München, MS = Münster, PB = Paderborn, BS = Braunschweig, DO = Dortmund, HD = Heidelberg, OS = Osnabrück, P = Potsdam).

durch Studierende geleitet werden, sowie in Szenarien, in denen die Übungsaufgaben Bestandteil der Modulprüfung sind, ist eine vorwiegend lehrenden-zentrierte Lehrauffassung anzutreffen [Da17]; unklar ist jedoch, ob hier Kausalitäten vorliegen. Es wurden ferner teilnehmende Beobachtungen in Tutorien der Standorte durchgeführt, um zu erfassen, ob sich diese Vorstellungen auch in der Praxis der Tutorien wiederfinden lassen.

2.2 Analyse der Lernprozesse und -voraussetzungen von Informatikstudierenden

Zur Erfassung von motivationalen Aspekten sowie des Wissens- und Kompetenzerwerbs in Einführungsveranstaltungen wurden im Sommersemester 2015 an drei Standorten verschiedene fragebogenbasierte Erhebungen durchgeführt (siehe Tabelle 2). Für das Instrument wurden Teile des MoKoM-Testinstruments [Ne14] ausgewählt und um weiterführende Fragen zu Vorkenntnissen und Vorerfahrungen sowie zur Motivation ergänzt. Hinsichtlich der Vorerfahrung ergaben sich sehr heterogene Ergebnisse, die sich insbesondere auf einen sehr unterschiedlichen Umfang von Informatikunterricht in der Schule zurückführen lassen. Dies spiegelte sich auch in den Ergebnissen der fachwissenschaftlichen Fragen wider. Zudem ließen sich bei den Studierenden keine Hinweise auf Lernbarrieren (z.B. bzgl. Wissensvoraussetzungen, fachlichem Interesse, didaktischen Aspekten) auffinden, die sich in den Einführungsveranstaltungen hinderlich auf die Lernprozesse auswirken könnten.

Die Analyse der motivationalen Aspekte ergab, dass die befragten Studierenden zwar insgesamt über eine durchgängig hohe Lernmotivation verfügen, dagegen aber nur ein geringes bis mittelmäßiges Interesse an den gestellten Tutoriumsaufgaben aufweisen. Bei Studierenden, die das Tutorium vorzeitig beendeten oder nur unregelmäßig teilnahmen, fiel das Interesse an den Aufgabenstellungen im Tutorium nochmals signifikant geringer aus. Diese Studierenden waren zudem weniger davon überzeugt, die gestellten Aufgaben lösen zu können als Studierende, die regelmäßig teilnehmen.

Art der Umfrage			Anzahl Teilnehmer			
Untersuchung	Methode	Datum	M	MS	PB	Σ
Lernerfahrungen und -barrieren in der Erstsemestervorlesung	Online-Befragung	02/2015	–	111	–	111
Lernerfahrungen und -barrieren im Repetitorium	Online-/Papier-Befragung	03/2015	79	72	–	151
Lernvoraussetzungen der Studierenden (Pilotierung)	Papier-Befragung	04/2015	–	335	–	335
Motivation der Studierenden inkl. Selbstwirksamkeit (Semesterbeginn)	Papier-Befragung	04/2015	371	253	–	624
Motivation der Studierenden inkl. Selbstwirksamkeit (Semestermitte)	Papier-Befragung	06/2015	300	147	–	447
Motivation der Studierenden inkl. Selbstwirksamkeit (Semesterende)	Papier-Befragung	07/2015	299	104	–	403
Lernvoraussetzungen der Studierenden	Papier-Befragung	10/2015	874	393	385	1652
Lernvoraussetzungen und Lernbarrieren der Studierenden	Papier-Befragung	01/2016	145	98	56	299

Tab. 2: Im Projektzeitraum gesammelten Daten bzgl. der Lernprozesse und Lernvoraussetzungen.

2.3 Analyse des Lehr- und Lerndesigns in Tutorenschulungen

Um den Nutzen von Tutorenschulungen zu erfassen und mögliche Änderungen hinsichtlich der Überzeugung und Motivation zu ermitteln, wurden neben Interviews auch Prä- und Post-Befragungen der Teilnehmer herkömmlicher Tutorenschulungen durchgeführt (siehe Tabelle 3). Hierzu wurde ein Fragebogen mit 28 Items erstellt, die aus mehreren Erhebungen, die zuvor bei Lehrerinnen und Lehrern eingesetzt wurden [Je99a, Je99b, SS99, SS01], adaptiert wurden; diese Items werden in unserer Begleitarbeit [Da17] diskutiert. Bei der Prä-Befragung (Messzeitpunkt T1; siehe Tabelle 3 zur Erläuterung der Messzeitpunkte) wurden zusätzlich die Erwartungen der Schulungsteilnehmenden an eine Tutorenschulung mit einer offenen Frage abgefragt und bei der Post- und Follow-up-Befragung (T2 und T3) 8 Items zur praktischen Relevanz und zur Zufriedenheit mit der Tutorenschulung ergänzt.

Die quantitative Auswertung der geschlossen formulierten Items zeigte bei den Teilnehmerinnen und Teilnehmern zwischen den ersten Messzeitpunkten (T1 und T2) einen signifikanten Anstieg der Selbstwirksamkeitserwartung bzgl. lernendenzentrierten Lehrhandelns, konstruktivistischer Lehr- und Lernüberzeugungen und Rollen-/Aufgabenklarheit; für Details zu den statistischen Analysen, insbesondere in Hinblick auf die Effektstärken der beob-

Art der Umfrage			Anzahl Teilnehmer				
Untersuchung	Methode	Datum	M	MS	PB	DO	Σ
Rollenverständnis neuer Tutorinnen und Tutoren	Interviews	03/2015	4	7	–	–	11
Hospitation der Tutorenschulung	Beobachtung	04/2015	1	1	1	–	3
Rollenverständnis neuer Tutorinnen und Tutoren	Interviews	10/2015	–	10	–	–	10
Tutorenschulungsevaluation (nach einem Semester; T3)	Online-Befragung	02/2016	12	6	4	–	22
Tutorenschulungsevaluation (vor der Schulung; T1)	Papier-Befragung	04/2016	34	11	–	18	63
Erwartungen der Schulungsteilnehmer	Papier-Befragung	04/2016	34	11	–	16	61
Tutorenschulungsevaluation (nach der Schulung; T2)	Papier-Befragung	04/2016	34	11	–	14	59
Hospitation in Tutorien	Beobachtung	SoSe 16	20	30	41	16	107
Tutorenschulungsevaluation (nach einem Semester; T3)	Online-Befragung	07/2016	25	8	–	8	41
Tutorenschulungsevaluation (vor der Schulung; T1)	Papier-Befragung	10/2016	37	9	–	–	46
Erwartungen der Schulungsteilnehmer	Papier-Befragung	10/2016	37	9	–	–	46
Tutorenschulungsevaluation (nach der Schulung; T2)	Papier-Befragung	10/2016	37	9	–	–	46
Hospitation in Tutorien	Beobachtung	WiSe 16/17	24	56	18	–	98

Tab. 3: Im Projektzeitraum gesammelte Daten bzgl. des Lehr-/Lerndesign in Tutorenschulungen.

achteten Veränderungen, sei auf unsere Begleitarbeit [Da17] verwiesen. Als wesentlicher Befund ergabe sich hier die Erkenntnis, dass durch die Schulung eine statistisch signifikante Verstärkung der Selbstwirksamkeit bzgl. studierendenzentriert-konstruktivistischen Lehrens ($p = 0.022$, Cohens $d = 0.26$), eines studierendenzentriert-konstruktivistischen Lehrverständnisses ($p = 0.039$, Cohens $d = 0.29$) sowie der Rollenklarheit ($p < 0.001$, Cohens $d = 1.24$) entstand. Diese Effekte wurden sowohl umittelbar nach der Schulung als auch nach Abschluss der Tutorentätigkeit beobachtet. Die als Kontrolle abgefragte allgemeine Selbstwirksamkeit bzgl. des Lehrens ($p = 1.0$) sowie das tutorenzentriert-transmissive Lehrverständnis ($p = 0.625$) änderte sich jeweils nicht bzw. nicht signifikant. Die offenen Fragen wurden qualitativ ausgewertet. Es ergaben sich verschiedene Erwartungen der angehenden Tutorinnen und Tutoren an die Tutorenschulung, die neben den vorher erwähnten Ergebnissen eine weitere Grundlage für unsere Empfehlungen zur Gestaltung bilden (siehe Abschnitt 4).

3 Entwicklung eines Kompetenzmodells für Tutorinnen und Tutoren

Als Grundlage unseres Kompetenzmodells (siehe Tabelle 4) für Tutorinnen und Tutoren wurde ein zweidimensionales Kompetenzmodell für Informatik-Lehrkräfte verwendet, das im Rahmen des BMBF-Projekts KUI (Kompetenzen für das Unterrichten in Informatik) entwickelt wurde [Hu13]. Die erste Dimension dieses Modells umfasst drei Bereiche pädagogischen Handelns (*Fields of Pedagogical Operation, FPO*), die zweite 15 Aspekte des Lehrens und Lernens (*Aspects of Teaching and Learning, ATL*). Das KUI-Modell musste hier an die Zielgruppe angepasst werden, da im Vergleich zu Lehrkräften an Schulen einerseits das Aufgabengebiet von Tutorinnen und Tutoren wesentlich schmaler und andererseits deren Ausbildung nicht mit einer Lehramtsausbildung zu vergleichen ist. Das Ergebnis dieser Anpassung ist in Tabelle 4 abgebildet.

1. Dimension: **Bereiche pädagogischen Handelns**	**2. Dimension:** **Aspekte des Lehrens und Lernens**
• Planung und Gestaltung von Lernsituationen - Zeitplanung - Granularität • Reaktion in Lehr-Lernsituationen - Verständnis- und selbstständigkeits-orientiert reagieren - Komplexität bewältigen - Planung einhalten • Evaluierung von Tutorien - Techniken - Kriterien - Konsequenzen ableiten	• Fachspezifische Lehr-Lernkonzepte • Heterogenität im Fachkontext • Hochschulentwicklung • Educational System • Rolle/Rollenverständnis • Lerninhalte • Medien und Lernmaterial • Methoden und Sozialformen • Kognition der Studierenden • Spezielle Lernarrangements • Standards

Tab. 4: Im Projekt entwickeltes Kompetenzmodell für Tutorinnen und Tutoren.

Durch die zweidimensionale Gestaltung des Modells lassen sich die Kompetenzen der einzelnen Dimensionen miteinander kombinieren. Zur Erläuterung wurden zudem Kompetenzbeschreibungen erstellt. Als Beispiel sei hier die Beschreibung für die Kompetenz Zeitplanung (1. Dimension) gegeben:

> *Die Tutorinnen und Tutoren sind in der Lage, ihre Planung des Tutoriums hinsichtlich der zeitlichen Aspekte zu überprüfen. Dies umfasst neben der zeitlichen Planung von Übungseinheiten auch die individuelle Einschätzung der Lernprozesse der Studierenden.*

4 Implikationen für die Gestaltung von Tutorenschulungen

Ausgehend von dem hergeleiteten Kompetenzmodell (siehe Abschnitt 3) und basierend auf empirischen Ergebnissen wird die Ausrichtung eines Konzepts zur Schulung von Tutorinnen und Tutoren entwickelt. Dieses Konzept umfasst sowohl die in der Schulung behandelten Inhalte als auch die dort eingesetzten Methoden. Unser Konzept zur Tutorenschulung basiert auf den von den Projektbeteiligten an den drei Projektstandorten durchgeführten Schulungen, deren Inhalte und Methoden bislang theoretisch fundiert entwickelt und ausgiebig erprobt wurden. Da die Rahmenbedingungen für Tutorien in Teilen standortspezifisch sind (siehe Abschnitt 2), sind die Schulungen für die jeweiligen Standorte adaptiert, haben aber sowohl bezüglich der Inhalte, als auch bezüglich der Methoden eine ähnliche Struktur. Das von uns hieraus synthetisierte und weiterentwickelte Konzept ist als Prototyp zu sehen, der auf standortspezifische Rahmenbedingungen angepasst werden kann/soll.

Das nachfolgend dargestellte Konzept beruht auf der Summe aller bisherigen empirischen Ergebnisse des Projekts sowie auf den Erwartungen der Teilnehmenden der Schulungen, die wir vor Schulungsbeginn abgefragt haben (Prä-Test, siehe Abschnitt 2.3). Die Teilnehmenden wurden gebeten, ihre Erwartungen an Inhalte und Methoden der Tutorenschulung zu formulieren. Die erhaltenen Antworten wurden nach der Methode von Mayring [Ma00] paraphrasiert, generalisiert und induktiv kategorisiert; dabei entstanden Aussagen der Form *„Ich möchte Lehrmethoden kennenlernen.“* oder *„Ich möchte das Erlernte praktisch ausprobieren.“*. Solche Aussagen dienten uns als Grundlage für die Auswahl der Inhalte und Lehrmethoden unseres vereinheitlichten Konzepts zur Tutorenschulung.

4.1 Inhalte

In Tabelle 7 sind die Schulungsthemen aufgeführt, wobei jeweils stichpunktartig die Inhalte beschrieben werden. Die Themen sind jeweils eigenständige Module. Sie haben keine feste Reihenfolge und werden daher alphabetisch dargestellt (abgesehen von jeweils zwei Blöcken, die am Anfang beziehungsweise Ende der Schulung behandelt werden).

Zur Gewichtung der Schulungsthemen und zum Abgleich mit den tatsächlichen Bedürfnissen der angehenden Tutorinnen und Tutoren haben wir die Erwartungen der Schulungsteilnehmenden ausgewertet. Dabei ergab sich, dass die meisten Schulungsthemen von mindestens einer/einem Teilnehmenden als Bedarf formuliert wurden und andererseits auch der Großteil der Erwartungen der Teilnehmenden durch die Schulungsthemen abgedeckt wurde. Unter jedem Thema sind die zugehörigen paraphrasierten und generalisierten Erwartungen der Schulungsteilnehmenden aufgeführt.

Ein Abgleich mit unserem Kompetenzmodell für Tutorinnen und Tutoren ergibt, dass sich jedes Schulungsthema einer oder mehrerer der Kategorien des Modells zuordnen lässt und sich umgekehrt auch alle Kategorien des Kompetenzmodells in den Schulungsthemen wiederfinden (abgesehen von der Kategorie *Hochschulentwicklung*, die in der Schulung nicht behandelt wird) (s. Tabelle 5).

Schulungsthema	**Dim. 1**	**Dim. 2**
Einführung	–	–
Kennenlernen	–	–
Artikulation	P	Fachspezifische Lehr-Lernkonzepte, spezielle Unterrichtselemente, Methoden und Sozialformen
Feedback	E	alle
Gruppen- und Raumorganisation	P, R	Methoden und Sozialformen
Heterogenität	P, R	Heterogenität im Fachkontext, Medien und Unterrichtsmaterial, Kognition der Studierenden, Methoden und Sozialformen
Kritische Situationen	R	Rolle, Kognition der Studierenden, Methoden und Sozialformen, Heterogenität im Fachkontext
Leistungsmessung und -bewertung	P, R, E	Standards, Kognition der Studierenden
Lernendenkognition	P, E	Kognition der Studierenden, Methoden und Sozialformen, Standards
Medieneinsatz	P, R	Medien und Unterrichtsmaterial
Methodenvielfalt	P	Methoden und Sozialformen
Motivierung	P, R	Rolle, Methoden und Sozialformen
Organisatorische Rahmenbedingungen	P, R, E	Rolle, Educational System
Qualitätsmerkmale von Tutorien	P, R, E	alle
Was ist Informatik?	P	Lerninhalte, Fachspezifische Lehr-Lernkonzepte
Ablauf der Hospitation	–	–
Schluss	–	–

Tab. 5: Themen der Tutorenschulung (in alphabetischer Reihenfolge) mit Zuordnung zu den Dimensionen des Kompetenzmodells (Dimension 1: P = Planung und Gestaltung von Lernsituationen, R = Reaktion in Lehr-Lernsituationen, E = Evaluierung von Tutorien).

Für die Schulungsthemen *Gruppen- und Raumorganisation* und *Was ist Informatik?* wurde bei den Erwartungen der Schulungsteilnehmenden kein entsprechender Bedarf formuliert; allerdings lässt sich die Relevanz dieser beiden Themen für eine Tutorenschulung empirisch und theoriebasiert begründen ([Le10] bzw. [GEH98, De03, Te15]).

4.2 Methoden der Tutorenschulung

In einer Tutorenschulung können verschiedene Lehrmethoden, Sozialformen und Medien zum Einsatz kommen. Insbesondere sollen auch solche Konzepte verwendet werden, die anschließend in den Tutorien eingesetzt werden. Dabei gibt es drei Möglichkeiten der Begegnung der Teilnehmenden mit den behandelten didaktischen Methoden und Konzepten, wie beispielsweise Sozialformen oder Medien:

1. die Methoden bzw. Konzepte können in der Schulung theoretisch behandelt werden,
2. die Tutorinnen und Tutoren erleben die Konzepte oder Methoden selbst als Teilnehmende der Schulung und damit aus der Sicht ihrer späteren Studierenden, oder
3. die Tutorinnen und Tutoren erproben die Konzepte oder Methoden selbst aktiv (z. B. im Rollenspiel) aus Sicht ihrer späteren Lehrtätigkeit.

Damit Tutorinnen und Tutoren ein Konzept oder eine Methode später im Tutorium kompetent anwenden können, ist es wünschenswert, dass sie diese in der Schulung erprobt oder zumindest aus Teilnehmenden-Perspektive erlebt haben. Da die Teilnehmenden der Schulung in verschiedenen Rollen agieren (z.B. bei der Simulation einer Tutorübung), können mehrere Interaktionsformen zwischen den Trainern und den Teilnehmenden unterschieden werden. Diese Interaktionsformen sind in Tabelle 6 (Seite 14) dargestellt.

Aus der Prä-Befragung ergab sich auch, dass nach Ansicht der Teilnehmenden in einer Tutorenschulung verschiedene Lehrmethoden zum Einsatz kommen sollten. Bei den Interaktionsformen sind daher die passenden Erwartungen der Teilnehmenden aufgeführt. Eine feste Zuordnung der Methoden zu den behandelten Themen ist in unserem Konzept bewusst nicht vorgesehen. In der Post-Befragung zur Schulung hat sich gezeigt, dass eine Besprechung der Methoden der Schulung auf einer Meta-Ebene sehr positiv angenommen wird, weil so die Intentionen des Trainers mit den eigenen Erfahrungen aus Teilnehmendenperspektive anschaulich reflektiert werden können.

Thema	**Inhalt / Begründung**	**Erwartung der Teilnehmenden**
Einführung	Aktivierung von Vorerfahrungen und als *advance organizer*.	

Fortsetzung umseitig

Thema	**Inhalt / Begründung**	**Erwartung der Teilnehmenden**
Kennenlernen	Gegenseitiges Kennenlernen, u.a. als Basis für *Social Relatedness* nach Selbstbestimmungstheorie von Ryan und Deci [RD00].	„*Ich möchte andere Tutorinnen und Tutoren kennenlernen.*“
Artikulation	z.B. Ablaufplanung einer Unterrichtseinheit.	„*Ich möchte ein Tutorium zeitlich strukturieren können.*“
Feedback	Feedback von Studierenden einholen und Feedback an Studierende geben.	„*Ich möchte wissen, wie man den Leistungsstand der Studierenden erfährt.*“
Gruppen-/ Raum-organisation	Formen/Phasen von Gruppenarbeiten und Programmierpraktika; *best practices* [Le10]	
Heterogenität	Lerntypen, Differenzierung, Individualisierung, Gender und Diversity.	„*Ich möchte auf die Studierenden individuell eingehen können.*“ und „*Ich möchte verschiedene Lerntypen berücksichtigen können.*“
Kritische Situationen	Situationen in Tutorien erkennen, mögliche Handlungsalternativen kennen und bewerten.	„*Ich möchte die eigene Rolle im Tutorium finden.*“ und „*Ich möchte in schwierigen Situationen angemessen reagieren können.*“
Leistungs-messung und -bewertung	Leistungserwartung, Leistungsmessung, Konstruktion von Prüfungen, Musterlösung/ Korrekturvorlagen erstellen, Korrigieren.	„*Ich möchte auf die Bewertungssituation/Korrektur vorbereitet werden.*“
Lernenden-kognition	Lerntheorien, Operationalisierung, Erklärtechniken, Fachsprache.	„*Ich möchte das Erklären lernen.*“ und „*Ich möchte den theoretischen Hintergrund des Lernens kennen.*“
Medieneinsatz	Vorbereitung und Einsatz von Medien wie Tafel und Präsentationen sowie Körpersprache.	„*Ich möchte Vortragstechniken beherrschen.*“

Fortsetzung umseitig

Thema	**Inhalt / Begründung**	**Erwartung der Teilnehmenden**
Methoden-vielfalt	Lehrmethoden, Betreuung von Programmierübungen.	„*Ich möchte Lehrmethoden kennenlernen.*“ und „*Ich möchte die Studierenden aktivieren können.*“
Motivierung	Motivationstheorien, Methoden zur Motivierung und Aktivierung.	„*Ich möchte die Studierenden motivieren können.*“
Organisatorische Rahmenbedingungen	Rollen von Tutoren, Rahmenbedingungen/ Entscheidungsfelder in Tutorien.	„*Ich möchte die eigene Rolle im Tutorium finden.*“ und „*Ich möchte die Aufgaben von Tutorinnen und Tutoren erfahren.*“
Qualitätsmerkmale von Tutorien	Voraussetzung, um Tutorium evaluieren zu können.	„*Ich möchte wissen, was gute/schlechte Tutorien ausmacht.*“
Was ist Informatik?	z. B. Fundamentale Ideen der Informatik, Great Principles of Computing.	
Ablauf der Hospitation	Besprechung der Hospitation, die die Prüfung zur Schulung darstellt.	„*Ich möchte wissen, wie die Prüfung zum Seminar/die Hospitation abläuft.*“
Schluss	Zusammenfassung, Ausblick.	

Tab. 7: Inhalte des Konzepts zur Tutorenschulung mit den jeweils passenden formulierten Erwartungen der Teilnehmenden.

5 Ausblick

In der restlichen Projektlaufzeit sind noch weitere Auswertungen geplant. Zum einen wollen wir die kognitiven Voraussetzungen der Studierenden weiter untersuchen, indem wir die mit dem MoKoM-Instrument erhobenen Daten auswerten. Die herrschende Lehr-Lernpraxis soll durch die Auswertung zahlreicher Beobachtungsbögen und -protokolle an allen Standorten beschrieben werden. Das Kompetenzmodell muss noch durch die Formulierung von passenden Kompetenzbeschreibungen präzisiert werden. Schließlich planen wir die Dissemination unserer Ergebnisse über Workshops zur Tutorenschulung an diversen deutschen Universitäten und ggfs. daraus resultierend eine Weiterentwicklung des Schulungskonzepts.

Literaturverzeichnis

[Da17] Danielsiek, H.; Hubwieser, P.; Krugel, J.; Magenheim, J.; Ohrndorf, L.; Ossenschmidt, D.; Schaper, N.; Vahrenhold, J.: Undergraduate Teaching Assistants in Computer Science: Teaching-Related Beliefs, Tasks, and Competences. In: 2017 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON). 2017. Im Druck.

[De03] Denning, P. J.: Great Principles of Computing. Communications of the ACM, 46(11):15–20, November 2003.

[GEH98] Gal-Ezer, J.; Harel, D.: What (Else) Should CS Educators Know? Communications of the ACM, 41(9):77–84, September 1998.

[Hu13] Hubwieser, P.; Berges, M.; Magenheim, J.; Schaper, N.; Bröker, K.; Margaritis, M.; Schubert, S.; Ohrndorf, L.: Pedagogical Content Knowledge for Computer Science in German Teacher Education Curricula. In: Proceedings of the 8th Workshop in Primary and Secondary Computing Education. WiPSE '13, ACM, New York, NY, USA, S. 95–103, 2013.

[Je99a] Jerusalem, Matthias: Subskala Bedrohung. In (Schwarzer, Ralf; Jerusalem, Matthias, Hrsg.): Skalen zur Erfassung von Lehrer- und Schülermerkmalen. Dokumentation der psychometrischen Verfahren im Rahmen der wissenschaftlichen Begleitung des Modellversuchs Selbstwirksame Schulen, S. 82. Berlin, 1999.

[Je99b] Jerusalem, Matthias: Subskala Herausforderung. In (Schwarzer, Ralf; Jerusalem, Matthias, Hrsg.): Skalen zur Erfassung von Lehrer- und Schülermerkmalen. Dokumentation der psychometrischen Verfahren im Rahmen der wissenschaftlichen Begleitung des Modellversuchs Selbstwirksame Schulen, S. 81. Berlin, 1999.

[KBB11] Kunter, M.; Baumert, J.; Blum, W.: Professionelle Kompetenz von Lehrkräften: Ergebnisse des Forschungsprogramms COACTIV. Waxmann Verlag GmbH, 2011.

[Le10] Lemov, D.: Teach Like a Champion: 49 Techniques that Put Students on the Path to College. Jossey-Bass, 1. Auflage, 2010.

[Ma00] Mayring, Ph.: Qualitative Content Analysis. Forum Qualitative Sozialforschung / Forum: Qualitative Social Research, 1(2), 2000.

[Ne14] Neugebauer, Jonas; Hubwieser, Peter; Magenheim, Johannes; Ohrndorf, Laura; Schaper, Niclas; Schubert, Sigrid: Proceedings of the 7th International Conference on Informatics in Schools: Situation, Evolution, and Perspectives, ISSEP 2014. Springer International Publishing, Cham, Kapitel Measuring Student Competences in German Upper Secondary Computer Science Education, S. 100–111, 2014.

[RD00] Ryan, R. M.; Deci, R. L.: Self-determination theory and the facilitation of intrinsic motivation, social development, and well-being. American Psychologist, S. 68–78, 2000.

[SS99] Schwarzer, Ralf; Schmitz, Gerdamarie D.: , Dokumentation der Skala Lehrer-Selbstwirksamkeit (WirkLehr). `https://www.zpid.de/pub/tests/PT_9004398_WirkLehr_Autorenbeschreibung.pdf` [2017-06-06], 1999.

[SS01] Staub, Fritz C.; Stern, Elsbeth: The nature of teachers' pedagogical content beliefs matters for students' achievement gains: Quasi-experimental evidence. Journal of Educational Psychology, 94(2):344–355, Juni 2001.

[Te15] Tedre, M.: The Science of Computing: Shaping a Discipline. CRC Press, Boca Raton, FL, 2015.

[Wi04] Widodo, A. ; Duit, R.: Konstruktivistische Sichtweisen vom Lehren und Lernen und die Praxis des Physikunterrichts. Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, S. 233–255, 2004.

Interaktion mit Konzept	**Interaktion der Beteiligten**	**Methoden / Beispiel**	**Erwartung der Schulungsteilnehmenden**
Theoretisch	Die Trainerin / der Trainer hält einen Vortrag zum behandelten Konzept.	Lehrvortrag, Lehrgespräch	*„Ich möchte vom Trainer Wissen vermittelt bekommen.“*
Theoretisch	Eine Teilnehmende / ein Teilnehmender hält einen Vortrag zum behandelten Konzept.	Studierendenvortrag	*„Ich möchte Sicherheit beim Auftreten vor einer Gruppe bekommen.“*
Theoretisch	Die Teilnehmenden interagieren miteinander.	Diskussion, Kennenlernphase	*„Ich möchte andere Tutoren kennenlernen.“* und *„Ich möchte Diskussionen führen.“*
Erleben	Die Trainerin / der Trainer wendet das behandelte Konzept selbst an, wobei die angehenden Tutoren in ihrer Rolle als Teilnehmende der Schulung mitmachen.	z. B.: Gruppenarbeit	*„Ich möchte praktische Tipps bekommen.“*
Erleben / Erproben	Eine Teilnehmende / ein Teilnehmender wendet das Konzept selbst an, wobei die anderen Teilnehmenden in ihrer Rolle als Teilnehmende der Schulung mitmachen.	z. B.: Teilnehmende bereiten Tafelbild zu einem Schulungsthema vor	*„Ich möchte das Erlernte praktisch ausprobieren.“* und *„Ich möchte Sicherheit beim Auftreten vor einer Gruppe bekommen.“*
Erleben / Erproben	Eine Teilnehmende / ein Teilnehmender wendet das Konzept in der simulierten Rolle einer Tutorin / eines Tutors selbst an, wobei die anderen Teilnehmenden die Rolle von Studierenden in einer Tutoriumssituation simulieren.	Rollenspiel, Microteaching	*„Ich möchte das Erlernte praktisch ausprobieren.“* und *„Ich möchte Sicherheit beim Auftreten vor einer Gruppe bekommen.“*

Tab. 6: Interaktionsformen des Konzepts zur Tutorenschulung mit den jeweils passenden formulierten Erwartungen der Teilnehmenden.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 255

Es ist Vorlesung und keiner geht hin: Nutzerzentrierte Bedürfnisanalyse für eine digitale Lehr- und Lernplattform

Claudia Lemke, Kathrin Kirchner[1] und Barbara Rohner[2]

Abstract: Digitale Lernwelten beflügeln die notwendige Reformierung der Lehre im akademischen Bereich zukünftig zusätzlich stark. Sie transferieren das Lehren und Lernen auf digitale Plattformen und nutzen alle Vorteile der Technologien des Web 2.0. Digitale Lernwelten vereinen verschiedene formelle und informelle Lehr- und Lernprozesse, also solche, die entweder institutionell durch eine Bildungseinrichtung erbracht werden, oder vom Lernenden in seiner Freizeit unabhängig von einer bestimmten Zweckbestimmung stattfinden. Eine Ausprägung digitaler Lernwelten sind Plattformen, auf denen Autoren von Fach- und Lehrbüchern zusätzliche Lehr- und Lernmaterialien zur Verfügung stellen. Dieser Beitrag untersucht aus Sicht der Dozierenden und der Studierenden die Sinnhaftigkeit einer Lehrbuchplattform am Beispiel eines Lehrbuchs zur Einführung in die Wirtschaftsinformatik. Er verfolgt einen nutzerzentrierten Ansatz - die Inhalte für eine digitale Lernplattform werden ausschließlich durch Befragungen und Konzeptstudien der beiden Zielgruppen Dozierende und Studierende erarbeitet.

Keywords: digitale Lernwelten, soziales Lernen, digitale Plattformen, Nutzerzentrierung, Entwurf Informationssysteme

1 Einleitung

Universitäten und Hochschulen bieten ihren Dozierenden und Studierenden zentrale Lernumgebungen an, über die sich Lernvorgänge organisieren lassen, Lehr- und Lernmaterialien zur Verfügung gestellt und verschiedene Lernformen zwischen Lehrenden und Lernenden realisiert werden können. Als Learning Management Systeme (LMS) [Wu15] adressieren sie vordergründig das formelle Lernen [DHK+11], können aber auch die Studierenden für ein informelles Lernen motivieren. Weltweit weisen LMS ein steigendes Marktvolumen auf [St17]. Zu den bekanntesten Vertretern dieser Informationssysteme, die nicht ausschließlich in der universitären Ausbildung zum Einsatz kommen, sondern auch in Unternehmen für Aus- und Weiterbildungskonzepte genutzt werden, gehören Edmodo, Moodle und Blackboard [Ca16]. LMS bedürfen der funktionalen Anpassung durch den jeweiligen Betreiber und richten sich an eine geschlossene Nutzergruppe, nämlich die der Hochschulangehörigen. Die Wahl einer konkreten Lehr- und Lernform erfordert vom Lehrenden grundlegende didaktische Entscheidungen zur Nutzung der umfassenden E-Learning-Funktionen. Dadurch

[1] HWR Berlin, Fachbereich Duales Studium, Alt-Friedrichsfelde 60, 10315 Berlin, claudia.lemke@hwr-berlin.de, kathrin.kirchner@hwr-berlin.de
[2] Universität St Gallen, Institut für Wirtschaftsinformatik, Müller-Friedberg-Str. 8, 9000 St. Gallen, Schweiz, barbara.rohner@unisg.ch

doi:10.18420/in2017_19

schränken sich die Spielräume des Lernenden für ein selbstgesteuertes Lernen ein [HuWa10]. Der Lehrende konzentriert sich auf digital bzw. medial aufbereitete Lernangebote und ihre Einbettung in das LMS und gibt somit dem Lernenden die Inhalte und Werkzeuge der Wissensaneignung vor [Ke++10]. Die inhaltliche Lehrarbeit wird jedoch durch die Vorgabe der Systemnutzung reglementiert.

Die Dynamik und Vielfalt in der umfassenden und allgegenwärtigen Durchdringung von Wirtschaft und Gesellschaft mit digitalen und vernetzten Technologien zwingen auch Dozierende in den entsprechenden Lehr- und Forschungsgebieten zu einer permanenten Aktualisierung ihrer Lehrinhalte. Hier können LMS kaum unterstützen, da sie keine Plattform bieten zum Austausch in einer Fach-Community über die Grenzen einer Hochschule hinaus: Dieser könnte beispielsweise über die Zuordnung zu Fachthemen geführt werden und somit Impulse, Inhalte und Lehrmaterialien für den einzelnen Lehrenden liefern. In der Ausbalancierung seiner beschränkten Zeit- und Wissensressourcen, auch in Bezug auf die Verbesserung seiner eigenen Lehrtätigkeit, konkurrieren Aktualität und Attraktivität der Lehrinhalte mit diesen strukturellen Freiheitsgraden in der Lehre. Dozierende externalisieren die Forderung aktueller Lehrmaterialien an Verlage und/oder Autoren bzw. Autorinnen von Lehrbüchern (vgl. z.B. Pearson Studium Online), die zusätzliche Lehrmaterialien anbieten, die auf eine schnelle und einfache Art und Weise in Vorlesungen und Seminare integriert werden können. Institutionelle digitale Lernwelten, also vor allem LMS, erfüllen dieses Bedürfnis nur unzureichend, da Copyright-Regelungen die Einbindung externer Lerninhalte zum Teil unterbinden. Dies spricht für den Entwurf eigenständiger digitaler Lehr- und Lernplattformen für Fach- und Lehrbücher. Das Internet als Repräsentant einer digitalen vernetzten Welt [LeBr15] liefert die mobilen und sozialen Technologien zur Umsetzung solcher digitaler Lernwelten, die für die Lehrenden zu einer Verbesserung der eigenen Lehrfähigkeit beitragen und diese innovativer gestalten können [LCC+13].

Darüber hinaus hat sich das Lernverhalten heutiger Studierender grundlegend geändert. Ausschließliche Verweise auf entsprechende Pflichtlektüre für die Studierenden reichen nicht mehr aus. Sie erwarten zusätzliche digitale Lehrmaterialien, die ihnen das Selbststudium und die Vorbereitung auf Prüfungen erleichtern. Auch aus diesem Grund steigt die Erwartung, dass Fach- und Lehrbücher diese Materialien anbieten. Zusätzlich kombinieren Studierende als Digital Natives [Pr01], [PaGa13] das formelle Lernen zunehmend mit informellen, vor allem sozialen Lernformen [KeRe15]. Die formale Präsenzveranstaltung ist nicht mehr der einzige Ort der Wissensaneignung und das hochschulspezifische LMS nicht die einzige Wissensressource. Offene, digitale Angebote wie Online-Kurse, Video-Plattformen und Wissensdatenbanken sowie entsprechende Communities werden für das Selbststudium genutzt. Soziale Medien wie Facebook oder WhatsApp dienen dem Austausch mit anderen Studierenden [KiRa16]. Sie fördern dieses soziale oder kollektive Lernen, das die jeweilig beteiligten Personen mit ihren Aktivitäten in den Mittelpunkt rückt [KHR17]. Zu solchen informellen Angeboten zählen zunehmend auch Lehrbücher, die über digitale Angebote mit Übungsaufgaben, Klausurfragen und Musterlösungen einen aktiven Beitrag zur Prüfungsvorbereitung leisten (z.B. die Plattform „Lehrbuch Psychologie“ des Springer Gabler Verlags).

Diese Wechselseitigkeit zwischen formellen Lernformen mit ihrer digitalen Unterstützung durch hochschulspezifische Informationssysteme und den informellen, sozialen Lernformen in der digitalen vernetzten Welt wirft die Frage auf, welchen konkreten Mehrwert eine digitale Lehr- und Lernplattform als Ergänzung eines Lehrbuchs, hier am Beispiel zur Einführung in die Wirtschaftsinformatik, liefern kann.

Somit lässt sich folgender Untersuchungsgegenstand ableiten: *Stellt eine soziale Lehr- und Lernplattform für Lehrende und Lernende eine sinnstiftende Ergänzung zum Lehrbuch zur Einführung in die Wirtschaftsinformatik dar, die gleichermaßen in formelle und informelle Lernformen eingebunden werden kann?*

Als Beispiel dient das Lehrbuch zur Einführung in die Wirtschaftsinformatik, dass von Lemke, Brenner und Kirchner in zwei Bänden erschienenen ist [LeBr15], [Le++17] und sich an Bachelor-Studierende der Wirtschaftsinformatik sowie Master-Studierende unterschiedlicher Managementstudiengänge richtet. Dieses Lehrbuch weist zum Teil nutzerzentrierte Inhalte auf, die durch einen Hackathon [Le++17] gemeinsam mit der Zielgruppe der Studierenden erarbeitet wurden. Dieser Beitrag führt den nutzerzentrierten Ansatz fort und konzentriert sich auf die nutzerzentrierte Ermittlung der Bedürfnisse der beiden Lehr- und Lerngruppe der Dozierenden und Studierenden. Ausgehend von einer methodischen Einordnung des Untersuchungsgegenstands wurden zur Ermittlung der Nutzerbedürfnisse Interviews mit Dozierenden geführt. Studierende eines B.Sc. Wirtschaftsinformatik-Studiengangs hatten die gruppenbasierte Aufgabe der Konzeption einer studierendenzentrierten Plattform für ein Lehrbuch. Die Ergebnisse beider Nutzergruppen bilden den Ausgangspunkt für das Design der angestrebten digitalen Lehr- und Lernplattform.

2 Methodisches Vorgehen

2.1 Formelles und informelles Lernen im Kontext der Nutzerzentrierung

Der Ermittlung der Sinnstiftung einer möglichen digitalen Lehr- und Lernplattform erfolgt auf der Grundlage eines nutzerzentrierten Ansatzes, bei dem der Nutzer oder Mensch (user-/human-centred) im Zentrum des Entwurfs steht. Seine Bedürfnisse, seine Wünsche und Fertigkeiten, seine Kreativität sowie sein menschliches Potenzial bestimmen das Design eines technologischen Systems [Gi96]. Studien belegen, dass die Wahrnehmung des Nutzers über die Nützlichkeit eines Informationssystems durch seine Einbindung in den Entwicklungsprozess positiv beeinflusst werden kann [Ga99].

Aktuell verbreitete Ansätze für menschenzentrierte Innovationen wie das Design Thinking [Br08], [Ue++15] bzw. für nutzerzentrierte Entwicklungsmethoden wie die agile Softwareentwicklung [Co06] liefern die notwendigen Instrumente zur nutzerzentrierten Bedürfnisermittlung. Auf der Basis von Interviews und deren Synthese sowie durch ein frühes Prototyping werden die zentralen Bedürfnisse der untersuchten Nutzergruppen

Dozierende und Studierende ermittelt. Hierbei sollen gleichermaßen formelle wie informelle Lernformen adressiert werden. Somit bietet die angestrebte digitale Lehr- und Lernplattform zum Lehrbuch zur Einführung in die Wirtschaftsinformatik eine didaktische Unterstützung des formellen Lernens und regt zugleich zum kollektiven, informellen Lernen an.

Zu den formellen Lernformen zählen im Einzelnen u.a. [HuWa10]:

- Lehren und Lernen mit direkter Zweckbestimmung (in aller Regel Befähigung zur Erlangung eines Zertifikats jedweder Art als explizites Lernziel),
- Vorgabe eines institutionellen Rahmens für den Lerninhalt, Lernort und die Leistungserbringung beider Nutzergruppen,
- Definition der Struktur und Inhalte der Lernprozesse und
- Standardisierbare Lern- und Arbeitsmaterialien.

Die informellen Lernformen fördern das soziale Lernen [KeRe15], [KHR17] und umfassen im Wesentlichen:

- Lernen ohne direkte Zweckbestimmung,
- Reine Wissensvermittlung zu einem Thema oder Fachgebiet,
- Nutzerspezifische Struktur der Lerninhalte
- Austausch innerhalb und zwischen den Nutzergruppen,
- Aufbau von Beziehungen (Communities) und Wissensteilung mit Anderen,
- Gleichberechtigte Partizipation aller Nutzer an den Lernprozessen,
- direkte und indirekte Kommunikation und Rückkopplung zu bestimmten Themen sowie
- gemeinsame oder eigenständige Weiterentwicklung bestimmter Inhalte.

Beide Lernformen werden gleichberechtigt durch die nutzerzentrierte Bedürfnisanalyse angesprochen.

2.2 Design der nutzerzentrierten Bedarfsanalyse

Für die Ermittlung der Bedürfnisse von Dozierenden und Studierenden wurde folgendes Design gewählt:

- Durchführung strukturierter Interviews mit sechs Professoren und Professorinnen an deutschsprachigen Hochschulen und Universitäten (Deutschland und Schweiz) und
- Eigenständige Konzeption der studierendenzentrierten Bedürfnisse mittels eines Konzeptentwurfs im Rahmen einer Lehrveranstaltung durch alle teilnehmenden 68 Studierenden.

Im Mittelpunkt der Interviews stand die Ermittlung der gegenwärtigen Praktiken bei der Entwicklung von Lehrveranstaltungen und den dabei auftretenden Problemen. Die Interviews erfolgten wenn möglich persönlich, sonst telefonisch. Sie wurden anhand eines Interviewleitfadens halboffen geführt. Damit sollten nicht nur die direkten Fragen beantwortet werden, sondern auch Aspekte berücksichtigt werden, die die Interviewten in ihrer Arbeit besonders beschäftigen oder stören. Die Auswahl der Interviewpartner erfolgte nach verschiedenen Kriterien. Es sollten Dozierende aus Universitäten und Fachhochschulen interviewt werden, die eine Vorlesung „Einführung in die Wirtschaftsinformatik“ selbst lehren. Ein weiteres Kriterium war, dass die Lehrenden verschiedene Formate für unterschiedliche Gruppengrößen anbieten. Die Aussagen aus den einzelnen Interviews wurden anschließend generalisiert, so dass die Häufigkeit der Erwähnung bestimmt werden konnte.

Die Bedürfnisermittlung für die Studierendengruppe wurde von den Studierenden gruppenbasiert eigenständig durchgeführt. Diese hatten im Rahmen einer Lehrveranstaltung im letzten Semester ihres B.Sc.-Studiums die Aufgabe, ein Konzept für eine digitale Plattform aus ihrer Nutzersicht zu entwerfen. Dieses Konzept umfasste auch den prototypischen Entwurf. Der verantwortliche Dozierende nahm lediglich die Rolle des Coachs ein, um methodisch durch die Arbeit zu führen und bei Unverständlichkeiten oder Rückfragen zu helfen.

3 Ergebnisse der nutzerzentrierten Bedürfnisanalyse

3.1 Ergebnisse Dozierende

Die Interviews ergaben, dass alle befragten Dozierenden klassische Vorlesungen auf der Grundlage von Folien halten. Dabei achten sie darauf, dass der Unterricht mit Praxisbeispielen, Diskussionsfragen oder Gruppenarbeiten aufgelockert wird. Die meisten Lehrenden verwenden eigene Foliensätze, da sie diese nicht von anderen Dozierenden übernehmen können. Die Aktualisierung der Foliensätze und der Praxisbeispiele wird als große Herausforderung gesehen, da die Lehrbelastung hoch ist. Neue Lehrformen würden die Dozierenden gern zum Einsatz bringen. Manche Dozierende setzen Online-Quizze oder Online-Brainstorming-Werkzeuge in der Vorlesung ein. Die Konzeption und Realisierung solcher neuen Materialien scheint aber zu aufwändig zu sein.

Die Interviewten haben praktisch keine Erfahrung mit dem Austausch von Unterrichtsmaterial unter den Dozierenden. Dies beruht darauf, dass weder Fachhochschulen noch Universitäten Möglichkeiten dazu bieten. Es konnte aber der Wille und die Bereitschaft einer Community, die dieses Ziel hat, beizutreten, festgestellt werden.

Bei den Anforderungen an eine Lehrplattform denken Lehrende vor allem an die Unterstützung formeller Lernprozesse der Studierenden. Im Einzelnen wurden gewünscht:

- Foliensätze zu einzelnen Kapiteln des Lehrbuches
- Fallstudien mit didaktischen Hinweisen
- Hausaufgaben, die online überprüfbar sind
- Kurze Videos und Tonaufnahmen
- Aktuelle Beispiele aus Wissenschaft und Praxis



Abb. 1: Prototyp Lehrplattform für Dozenten (Ausschnitt)

Ein Online-Netzwerk, um sich mit anderen Lehrenden auszutauschen und Materialien für Vorlesungen zu teilen, wurde von drei der Befragten gewünscht.

Basierend auf den Wünschen der Dozierenden wurde ein erster Prototyp für eine Lehrplattform entwickelt (vgl. Abb. 1). Es handelt sich dabei um ein Mockup, um prinzipielle Möglichkeiten einer solchen Plattform aufzuzeigen und zu evaluieren. Die Plattform MUWI (Multimediale Wirtschaftsinformatik) ermöglicht es, Unterlagen für eine Vorlesung „Einführung in die Wirtschaftsinformatik" herunterzuladen, aber auch selbst Materialien für andere Dozierende zur Verfügung zu stellen. Weiterhin gibt es die Möglichkeit, sich mit anderen Dozierenden im Netzwerk auszutauschen.

Nach der Erstellung des ersten Prototyps wurden die ursprünglich interviewten Lehrenden eingeladen, die Plattform zu evaluieren. Dabei wurden positives Feedback, aber auch weitere Ideen gesammelt. Hier entstand zum Beispiel die Idee, dass Dozierende Punkte für den Upload oder Download von Materialien erhalten, so dass ihre Reputation steigt.

3.2 Ergebnisse Studierende

Die Studierenden des B.Sc.-Studiengangs Wirtschaftsinformatik hatten die gruppenbasierte Aufgabe, grundlegende Anforderungen an eine studierendenzentrierte Plattform für das fokussierte Lehrbuch zu entwickeln. Hierfür wählten die Gruppen folgende Ansätze zur Ermittlung:

- Durchführung von Umfragen sowohl online als auch unter befreundeten Studierenden anderer Hochschulen und Universitäten zur Datenerhebung,
- Vergleich von am Markt befindlichen digitalen Lernplattformen, sowohl für den akademischen Bereich als auch für die reguläre Schulausbildung, sowie
- Eigenes Brainstorming innerhalb der Gruppe zur Ermittlung der Bedürfnisse.

Aus dieser Analyse ergaben sich folgende Anforderungen:

- Gleichwertige Unterstützung aller vier Formen von Lerntypen (auditiv, visuell, kommunikativ und motorisch),
- Multimediale Kombination und Vernetzung von Wissensinhalten, z.B. in Form von einzelnen Textpassagen eines E-Books als elektronische Version des Lehrbuchs mit Erklärvideos, Hörbuchauszügen, Glossarverweisen und passenden Übungsaufgaben bzw. Fragen, sowie durch Verweise auch weiterführende, sekundäre oder ergänzende Literatur, auch zu eigenen Recherche-Zwecken,
- Gamification des Lernens als wesentlicher Motivator für das Lernen, z.B. in Form von Einstufungen des Lernenden, des spielerischen Erlernens von Inhalten sowie das Vergeben von Auszeichnungen, Punktbewertungen oder Rankings sowie des anonymen, digitalen Meldens für Fragen an Dozierende auch realtime in der Lehrveranstaltung,

- Aufbau persönlicher Lernassistenten, auch für eine individuelle Fortschrittskontrolle des Lernerfolgs mit Hinweisen zur Verbesserung sowie Erinnerung an anstehende Aufgaben,
- Gezielte Prüfungsvorbereitung durch Vorlesungsskripte, Übungsaufgaben, Fallbeispiele sowie Klausurfragen und Musterlösungen,
- Unterstützung des Aufbaus des sozialen Lernens durch gezielte Nutzung sozialer Medien, wie Messaging-Dienste zum Chatten innerhalb einer Gruppe sowie mit Dozierenden oder Autoren von Lehrbüchern, wie Verbindungen zu Karriere-Netzwerken wie Xing oder LinkedIn oder den Möglichkeiten, eigenen Content (user-generated Content) zu veröffentlichen, und
- Unterstützung einer mobilen und endgeräteoffenen Nutzung, teils über definierte Accounts, in aller Regel aber frei verfügbar.
- Möglichkeit der Nutzung einer Anwendungsarchitektur für die digitale Lehr- und Lernplattform in Form eines wiederverwendbaren Frameworks, das standardisierte Programmierschnittstellen (APIs) verwendet, um externe Inhalte einbinden zu können, und das zusätzlich auf eine einfache Art und Weise weitere Fach- und Lehrbücher integrieren kann.

Zusammenfassend wünschen sich die ausgewählten Studierenden umfassende und multimediale Anreicherungen von Lehrbüchern (v.a. E-Books) mit zusätzlichen Lehrmaterialien. Die Personalisierung des Lernens sowie das kollektive, soziale Lernen können als zwingende Erfolgskomponenten moderner digitaler Lernplattformen angesehen werden. Dabei betrachten die Studierenden den Austausch innerhalb von Lerngruppen und mit den Dozierenden gleichwertig zu den Möglichkeiten spielerischer Anreize zum Lernen. Einige Studierende thematisierten zusätzlich die zwangsweise auftretenden Lizenz- bzw. Copyright-Fragen bei der Einbindung unterschiedlichster Lehrinhalte, vor allem auch in Bezug auf die Nutzung von E-Books und wiesen auf diese restriktive Wirkung für die Umsetzung sozialer Lehr- und Lernplattformen hin. Zudem entwickelten einige Studierendengruppen auch erste Prototypen, in aller Regel als Mockups (vgl. Abb. 2), um die Funktionalität der einzelnen Bedürfnisse zu verdeutlichen.

Bei diesem Prototyp Learnimo (Learning in Motion) liegt der Schwerpunkt auf dem individualisierten Lernen des Studierenden. Für einen entsprechenden Kurs werden durch den Dozierenden die einzelnen Lerninhalte mit deren Relevanz für den Prüfungserfolg angegeben, Verweise auf weiterführende Inhalte aufgeführt sowie durch Kontroll- und Wissensfragen und Feedback durch den Lehrenden der individuelle Lernfortschritt des Studierenden gemessen. Studierende können zudem eine Erinnerung durch die Plattform erhalten, um Lerninhalte, die als „nicht verstanden“ gekennzeichnet wurden, zeitnah zu wiederholen.

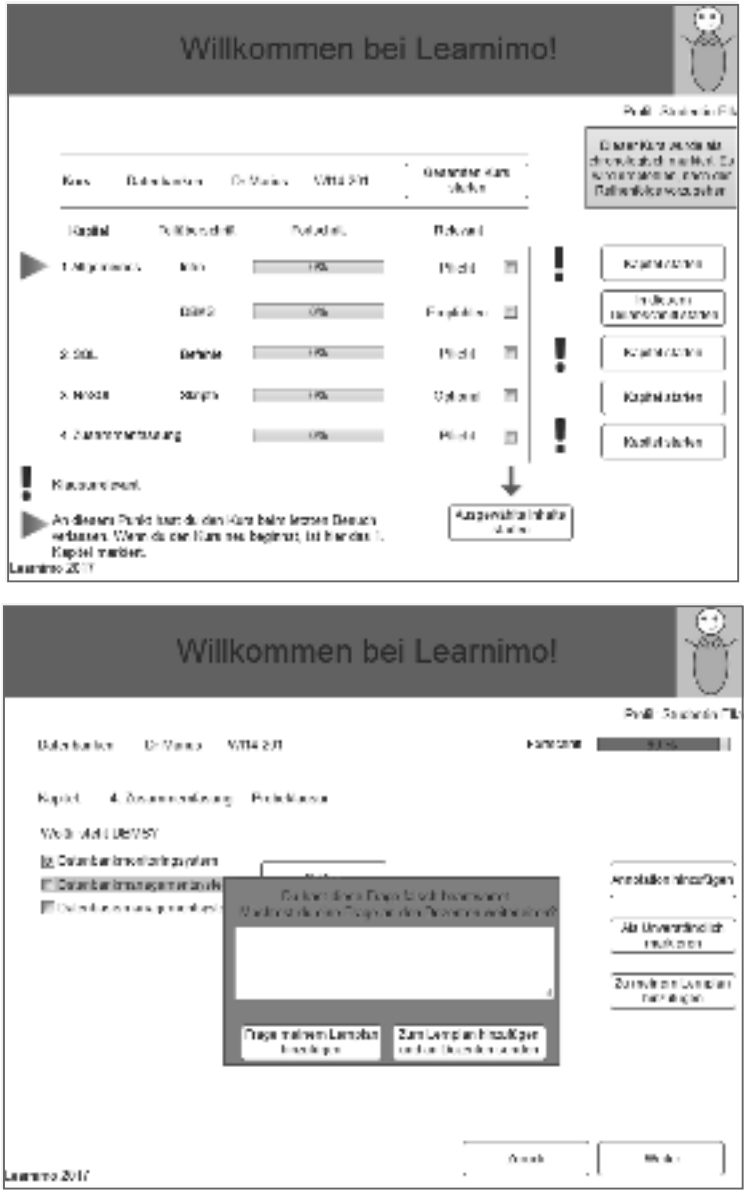


Abb. 2: Prototyp Learnimo (Ausschnitte)

4 Auswertung und Ausblick

Im Vergleich zwischen den Bedürfnissen von Dozierenden und Studierenden an eine digitale Lehr- und Lernplattform zeigen sich eklatante Unterschiede. Während die Dozierenden im Wesentlichen eine Erleichterung ihrer Vorlesungsvorbereitung durch Lehrmaterialien zu einem oder mehreren Lehrbüchern erwarten, zeigen die Studierenden grundlegende Ansätze einer Verhaltensänderung im (akademischen) Lernen an sich. Sie wünschen sich eine Umkehrung des Lehrens und Lernens unabhängig von Ort und Zeit durch die intensive Nutzung der Möglichkeiten der digitalen vernetzten Welt. In der konsequenten Weiterführung dieser Verhaltensänderung junger Studierender bedeutet dies vor allem auch Veränderung der Rolle des Dozierenden. Präsenzveranstaltungen wandeln sich zu Orten der vertiefenden Wissensdiskussion und Lernreflektion mit Hilfe eines Dozierenden. Sein Selbstverständnis und seine Lehraufgaben verändern sich dadurch fast vollständig. Dem müssten Hochschulen und Universitäten mit einer reformierten Sicht auf die Formen von Lehrverpflichtungen und Deputatsstrukturen von Dozierenden antworten, um Anreize für neue, digitale und soziale Lehr- und Lernformen zu schaffen. Damit könnten auch die definierten Bedürfnisse der Dozierenden zur Unterstützung formeller Lernprozesse erweitert werden, wie z.B. zum Austausch mit anderen Dozierenden sowie den Möglichkeiten, die eigenen Lehrinhalte durch multimediale Inhalte aufzuwerten und durch soziale Aspekte zu ergänzen.

Ein klassisches LMS stößt in der Praxis vor allem bei der Umsetzung der Anforderungen der Studierenden an ein soziales, informelles Lernen an seine Grenzen. Mobile Nutzung, Lernvideos, Kontrollfragen, Fortschrittskontrolle durch den Lehrenden und Feedback können nur mit einem enormen Aufwand des Dozierenden realisiert werden. Dieser ist jedoch durch die strukturelle Einschränkung in der gängigen Hochschulauffassung von Lehre ausschließlich an einer Erleichterung seiner Lehrtätigkeit interessiert und fragt somit vor allem aktuelles Lehr- und Übungsmaterial nach. Eine digitale Lernplattform, ausgehend von einem Fachgebiet, wie z.B. der Wirtschaftsinformatik, kann hier in Ergänzung zu den LMS der Hochschulen und Universitäten einen Beitrag leisten. Geordnet nach der Logik einzelner Themengebiete bietet sich eine ideale Kombination studierender und dozierender Anforderungen an. Formelle Lehrinhalte können neben den klassischen Lehrmaterialien als Lernvideos, interaktive Kontrollfragen und Prüfungsvorbereitungen realisiert werden. Soziale Lernformen lassen sich durch barrierefreie Plattformen, individualisierbares Lernen in Iterationen oder Sprints (in Anlehnung an Formen der agilen Softwareentwicklung) oder durch Youtube-integrierte Videos umsetzen. Beide Nutzergruppen bilden unabhängig von ihrer Hochschulzugehörigkeit eine Community für den Austausch, ein Feedback und die Weiterentwicklung der Inhalte der Plattform. Zudem können Praktiker gerade im Fachgebiet der Wirtschaftsinformatik diese Community erweitern, indem sie Praxisbeispiele, Fallstudien und aktuelle unternehmerische Entwicklungen einfließen lassen. Die Akzeptanz solcher Plattformen im akademischen Ausbildungsbereich wird durch intrinsisch motivierende Faktoren der Studierenden getrieben [PeNi16]. Soziale Lernformen digitaler Lernplattformen unterstützen die Durchsetzung einer intrinsischen

Lernmotivation und fördern damit auch die Akzeptanz bei den Lehrenden.

Danksagung

Die Inhalte der Bedürfnisanalyse der Dozierenden sind das Ergebnis einer Masterarbeit, die am Weiterbildungszentrum der Fachhochschule St. Gallen (WBZ-FHS) geschrieben wurde. Hierfür danken die Autorinnen der Freigabe der Inhalte und der Unterstützung während der Erstellung. Die Inhalte der studierendenzentrierten Bedürfnisanalyse wurden im Rahmen des dualen B.Sc.-Studiengangs Wirtschaftsinformatik der Hochschule für Wirtschaft und Recht Berlin (HWR Berlin) von allen Studierenden des Jahrgangs 2014 erarbeitet. Für ihr Engagement und ihre detaillierte Bedürfnisermittlung danken wir ebenfalls.

Literaturverzeichnis

[Br08] Brown, T.: Design Thinking. In Harvard Business Review, 2008, 6; S. 84–92.

[Ca16] Capterra: The Top 20 Most Popular LMS Software. http://www.capterra.com/learning-management-system-software/#infographic, 22.06.2017.

[Co06] Cockburn, A.: Agile software development: The cooperative game. AddisonWesley, 2006.

[DHK+11] Drummer, J. et al.: Forschungsherausforderungen des E-learning: DeLFI 2011 - Die 9. e-Learning Fachtagung Informatik; S. 197–208.

[Ga99] Gasson, S.: The reality of user-centered design. In Journal of Organizational and End User Computing (JOEUC), 1999, 11; S. 5–15.

[Gi96] Gill, K. S.: The foundations of human-centred systems: Human machine symbiosis. Springer, 1996; S. 1–67.

[HuWa10] Hugger, K.-U.; Walber, M.: Digitale Lernwelten: Annäherungen aus der Gegenwart: Digitale Lernwelten. Springer, 2010; S. 9–19.

[Ke++10] Kerres, M. et al.: Digitale Lernwelten in der Hochschule: Digitale Lernwelten. Springer, 2010; S. 141–156.

[KeRe15] Kerres, M.; Rehm, M.: Soziales Lernen im Internet - Plattformen für das Teilen von Wissen in informellen und formellen Lernkontexten. In HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik, 2015, 52; S. 33–45.

[KHR17] Kerres, M.; Hölterhof, T.; Rehm, M.: Lebenslanges Lernen im Kontext sozialer Medien: Chancen für formelles und informelles Lernen: Lebenslanges Lernen im sozialstrukturellen Wandel. Springer, 2017; S. 141–170.

[KiRa16] Kirchner, K.; Razmerita, L.: Wie arbeiten "Digital Natives" zusammen? - Eine vergleichende Analyse. In Proceedings 29. Jahrestagung Des Arbeitskreises Wirtschaftsinformatik Der Deutschsprachigen Fachhochschulen (akwi), 2016; S. 264–

273.

[LCC+13] Laurillard, D. et al.: A constructionist learning environment for teachers to model learning designs. In Journal of Computer Assisted Learning, 2013, 29; S. 15–30.

[Le++17] Lemke, C.; Brenner, W.; Kirchner, K.: Einführung in die Wirtschaftsinformatik: Band 2: Gestalten des digitalen Zeitalters. Springer-Verlag, 2017.

[LeBr15] Lemke, C.; Brenner, W.: Einführung in die Wirtschaftsinformatik: Band 1: Verstehen des digitalen Zeitalters. Springer-Verlag, 2015.

[PaGa13] Palfrey, J. G.; Gasser, U.: Born digital: Understanding the first generation of digital natives. Basic Books, 2013.

[PeNi16] Pedrotti, M.; Nistor, N.: User Motivation and Technology Acceptance in Online Learning Environments. In (Verbert, K.; Sharples, M.; Klobučar, T. Hrsg.): Adaptive and Adaptable Learning, 11th European Conference on Technology Enhanced Learning, EC-TEL 2016, 2016; S. 472–477.

[Pr01] Prensky, M.: Digital natives, digital immigrants part 1. In On the horizon, 2001, 9; S. 1–6.

[St17] Statista: Umsatzvolumen von Learning Management Systemen (LMS) in den Jahren 2013 bis 2018 (in Milliarden US-Dollar). https://de.statista.com/statistik/daten/studie/428514/umfrage/marktvolumen-von-e-learning-lernplattformen-weltweit/, 22.06.2017.

[Ue++15] Uebernickel, F. et al.: Design Thinking: Das Handbuch. Frankfurter Allgemeine Buch, 2015.

[Wu15] Wundenberg, S.-M.: Requirement Engineering for Knowledge-Intensive Processes: Reference Architecture for the Selection of a Learning Management System. Springer, 2015.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 267

Was macht Theoretische Informatik so schwierig? Ergebnisse einer qualitativen Einzelfallstudie

Felix Kiehn[1], Christiane Frede[2], Maria Knobelsdorf[3]

Abstract: Dieser Artikel stellt eine qualitative Einzelfallstudie vor, die als nicht-teilnehmende Beobachtung gestaltet war und in der untersucht wurde, wie drei Informatik Bachelorstudierende einen Reduktionsbeweis zu Unentscheidbarkeit mit Turing-Maschinen entwickeln. Für die Datenanalyse wurde eine angepasste Version der Interaktionsanalyse sowie qualitative Inhaltsanalyse eingesetzt. Die beobachteten Studierenden hatten zwar das grundsätzliche Konzept eines Reduktionsbeweises verstanden, konnten diesen jedoch nicht im Detail umsetzen sowie die gemeinsam besprochenen Ergebnisse und Ansätze formal korrekt niederschreiben. Die Ergebnisse geben damit einen detaillierten Einblick, wie sich Bachelorstudierende der Informatik mit einem Teilthema der Theoretischen Informatik auseinandersetzen und welche Schwierigkeiten sie dabeihaben. Dieses Ergebnis zeigt, dass häufig genutzte Annahmen über die Gründe, warum Studierende Schwierigkeiten mit Theoretischer Informatik haben, wie z.B. ein mangelndes Interesse durch das abstrakte und theoretische Erscheinungsbild dieser Fachrichtung, hinterfragt und neu untersucht werden müssen.

Keywords: Qualitative Einzelfallstudie, nicht-teilnehmende Beobachtung, qualitative Inhaltsanalyse, Interaktionsanalyse, Theoretische Informatik, Turing-Maschinen, Reduktionsbeweis.

1 Einleitung

In der Studieneingangsphase der Informatik-Bachelorstudiengänge in Deutschland stellen die mathematischen und theoretischen Fachanforderungen in den korrespondierenden Einführungsveranstaltungen nach wie vor eine große Herausforderung dar. So brachen 45% der Studierenden des Jahrgangs 2010/11 ihr Studium u.a. aufgrund von Leistungsproblemen ab [He17]. Auch international ist das Thema relevant und die Situation ähnlich wie in Deutschland. Hier finden sich für die Eingangslehre der Theoretischen Informatik verschiedene fachdidaktische Ansätze, die sich dieser Problematik annehmen, z.B. [CGM04, Hä04, Ko07, Si07]. Die Ansätze arbeiten mit teils sehr unterschiedlichen didaktischen Konzepten und Methoden, sind jedoch sehr erfolgreich in der Gestaltung einer konstruktivistischen Lehr-Lern-Umgebung. Insgesamt liegt allen Ansätzen direkt oder implizit die Annahme zugrunde, dass die Studierenden

[1] Universität Hamburg, Fachbereich Informatik, Vogt-Kölln-Str. 30, 22527 Hamburg, kiehn@informatik.uni-hamburg.de
[2] Universität Hamburg, Fachbereich Informatik, Vogt-Kölln-Str. 30, 22527 Hamburg, frede@informatik.uni-hamburg.de
[3] Universität Hamburg, Fachbereich Informatik, Vogt-Kölln-Str. 30, 22527 Hamburg, knobelsdorf@informatik.uni-hamburg.de

doi:10.18420/in2017_20

wenig intrinsisch motiviert sind, sich mit der Theoretischen Informatik auseinander zu setzen und zudem Schwierigkeiten haben, die Fachkonzepte kognitiv zu durchdringen. Diese Annahmen wurden bisher jedoch kaum empirisch untersucht. Wenig ist darüber bekannt, welche Schwierigkeiten die Studierenden tatsächlich haben und welche sich dabei signifikant auf den Lernerfolg negativ auswirken. Als eine der wenigen Ausnahmen haben Parker und Lewis (2014) in einer qualitativen Einzelfallstudie einen Studenten beobachtet und interviewt, wie er eine Aufgabe zu Laufzeitanalyse mit der O-Notation bearbeitet [PL14]. Hierbei stellen die Autorinnen fest, dass der Student vor allem Probleme mit Eigenschaften mathematischer Funktionen, jedoch weniger mit der Laufzeitanalyse selbst, hatte. Auch in einer von uns durchgeführten Studie haben mehrere Studierendengruppen bei der Bearbeitung einer Aufgabe zu NP-Vollständigkeit beobachtet [KF16]. Die Ergebnisse unterstreichen die Probleme der Studierenden mit mathematischen Grundlagen und mit der Entwicklung von Beweiskompetenzen anstelle des generellen Verständnisses der Konzepte.

In einer typischen Einführungsveranstaltung in die Theoretische Informatik stehen Lehrenden eine Vorlesung und betreute Übungsgruppen zur Verfügung, um die Studierenden zu unterstützen. Zusätzlich gibt es durch wöchentliche Übungsaufgaben, die die Studierenden bearbeiten und in der Regel auch schriftlich abgeben müssen, die Möglichkeit den Leistungstand der Studierenden nachzuverfolgen. Die Klausurergebnisse am Ende einer Veranstaltung leisten einen zusätzlichen Einblick, inwiefern spezifische Fachkompetenzen entwickelt wurden. Aus diesen Datenquellen lässt sich jedoch nur bedingt schließen, wie der Bearbeitungsprozess der entsprechenden Übungsaufgaben in den selbstorganisierten Studierendengruppen selbst erfolgt ist und insbesondere wie es zu fehlerhaften Ergebnissen kommt oder warum z.B. ganze Aufgaben ausgelassen wurden. Qualitative Einzelfallstudien wie die oben genannte Arbeit von Parker und Lewis (2014) geben hier einen detaillierten Einblick, wie sich Lernende mit einem Thema im Verlauf ihres Lernprozesses auseinandersetzen und tragen so zu einer empirisch fundierten Hypothesenbildung über konkrete Schwierigkeiten der Studierenden bei. Aufbauend auf der von uns durchgeführten Studie zu NP-Vollständigkeit (2016) wurde das gleiche Forschungsdesign verwendet, um eine weitere Beweisaufgabe zu einem anderen Themenbereich der Theoretischen Informatik zu untersuchen. In der durchgeführten Einzelfallstudie wurde beobachtet, wie drei Informatik-Bachelorstudierende der Universität Hamburg einen Reduktionsbeweis zu Unentscheidbarkeit mit Turing-Maschinen entwickeln. Für die Datenanalyse wurde eine angepasste Version der Interaktionsanalyse nach Krummheuer [Kr12] sowie qualitative Inhaltsanalyse nach Mayring [Ma10] eingesetzt.

In den nächsten beiden Abschnitten stellen wir das Forschungsdesign der Studie und die konkrete Aufgabe mit Musterlösung vor, welche die Studierenden im Verlauf der Datenerhebung bearbeitet haben. Die Ergebnisse der Datenauswertung werden in Abschnitt 4 vorgestellt und diskutiert. Der Artikel schließt mit einem Fazit in Abschnitt 6.

2 Forschungsdesign

Ziel der hier vorliegenden Studie war es, zu verstehen, warum Theoretische Informatik für die Studierenden so schwierig ist. Zur Beantwortung dieser Frage wurden Beweisaufgaben aus der Theoretischen Informatik betrachtet, welche Teil vieler Aufgaben in der Theoretischen Informatik sind Im Rahmen einer Einzelfallstudie wurden drei Informatik-Bachelorstudierende aus der Veranstaltung „Formale Grundlagen der Informatik I“ (FGI1) der Universität Hamburg nicht-teilnehmend dabei beobachtet [Ba09], wie sie einen Reduktionsbeweis zu Unentscheidbarkeit mit Turing-Maschinen entwickeln. Durch die Gruppenarbeit fand in der Regel ein sog. *lautes Denken* statt, das eine nicht-teilnehmende Beobachtung sehr gut ermöglicht. Die Arbeitssitzung der Studierenden wurde von uns beobachtet, ergänzend protokolliert und auf Audio aufgenommen. Außerdem wurden Fotos der Mitschriften und der Arbeit am Whiteboard gemacht. Videografie war am Standort nicht möglich, da die Studierenden an einer Studie mit Videoaufnahmen nicht teilnehmen wollten. Am Ende der Beobachtung wurde die Gruppe ergänzend zur Sitzung im Rahmen eines Leitfaden-Interviews befragt.

Die Audiodaten wurden transkribiert und zunächst mit qualitativer Inhaltsanalyse nach Mayring [Ma10] kodiert, wobei wir hierfür das Kategoriensystem aus unserer ersten Studie genutzt haben [KF16]. Für die weitere Interpretation der Daten wurde die Interaktionsanalyse nach Krummheuer angewendet [Kr12] und für die Kombination mit Mayring angepasst. Nach vorab definierten Kriterien und mittels des kodierten Materials wurden sieben ausgewählte Stellen gezielt für die Analyse ausgewählt [Ki17].

Die Interaktionsanalyse nach Krummheuer besteht aus fünf Schritten, die den Interpretationsvorgang strukturieren. Die Quintessenz der Methode liegt im dritten und vierten Schritt: In Schritt drei erfolgt eine ausführliche Analyse der Einzeläußerungen. Dabei wird jede Einzelaussage gemäß ihrer sequentiellen Ordnung analysiert. Besonderes Augenmerk liegt hier in der Erarbeitung unterschiedlicher Sichtweisen durch das Erstellen verschiedener Deutungsalternativen durch den Forschenden. Hierfür obliegt es ihm sich von eigenen ersten Alltagsinterpretationen, z.B. durch gedankliche Kontextvariationen, zu lösen. Die Kategorisierung nach Mayring hilft durch die erarbeiteten Kenntnisse über den untersuchten Gruppenprozess dabei, die Deutungsalternativen sowohl zu erstellen als auch zu diskutieren und so den Grad an Subjektivität beim Deuten zu verringern. Die erstellten Deutungsalternativen werden in Schritt vier im Kontext der darauffolgenden Handlung betrachtet (vgl. [Kr12] S. 3). Diesen Schritt bezeichnet Krummheuer als Turn-by-Turn-Analyse, da die vorher erstellten Deutungsalternativen sich im Kontext der darauffolgenden Handlung, Gesprächszug um Gesprächszug bewähren müssen. Eine vorausgesagte Handlung bzw. Deutung kann als Indiz für eine korrekte Deutungsalternative gesehen werden. Durch die Turn-by-Turn-Analyse können Alternativen auch wegfallen oder gänzlich neue notwendig werden. In Tab. 1 findet sich ein Ausschnitt unserer Datenauswertung, der auch das Vorgehen nach der Interaktionsanalyse illustriert.

<table>
<tr><td colspan="2">S3: „Vielleicht ist das so eine tricky Aufgabe und es ist eigentlich unentscheidbar.“</td></tr>
<tr><td>Alternative 1: S3 vermutet eine Fangfrage, da er die Aufgabe als schwierig empfindet und kommt zum Schluss, dass die Aufgabe nicht gemäß der Aufgabenstellung zu lösen ist.</td><td>Alternative 2: S3 macht eine ironische Aussage, welche er nicht ernst meint.</td></tr>
<tr><td colspan="2">Turn-by-Turn-Analyse: S3s Stimme am Ende der Aussage klingt bei der Aufnahme belustigt. Gefolgt wird diese heitere Stimmung von einem Lachen von der darauffolgenden Aussage von S1. Diese Interaktion spricht für die zweite Deutungsalternative. Ein weiteres Indiz dafür ist, dass S3 bereits vorher in der Sitzung ironische Aussagen gemacht hat.</td></tr>
</table>

Tab. 1: Beispiel für eine Interaktionsanalyse aus der eigenen Datenauswertung

3 Aufgabe und Musterlösung

In der ausgewählten Übungsaufgabe geht es darum, die Unentscheidbarkeit einer gegebenen Sprache L mit Hilfe von Turing-Maschinen (TM) per Widerspruch und mit Hilfe einer Reduktion zu beweisen. Konkret lautet die Aufgabe:

Sei L = {<M> | M ist eine TM und L(M) ist endlich}. Zeigen Sie, dass L unentscheidbar ist.

Bevor diese Aufgabe gestellt wurde, wurden an zwei Vorlesungsterminen alle für die Aufgabe relevanten Konzepte vorgestellt, wie z.B. Turing-Maschinen, Reduktion, Sprachklassen und Entscheidbarkeit. Das Vorlesungsmaterial basierte dabei auf Hopcroft et al. (2001) [HMU01], welches auch als Literatur zur Vorlesung empfohlen wurde. Vor der Teilnahme an diesem Modul haben zwei der Studierenden das einführende Mathematikmodul „Diskrete Mathematik“ gehört und der dritte Student „Mathematik für Physiker I“ und „Formale Grundlagen der Informatik II“[4]. Im Folgenden stellen wir eine Musterlösung für die Aufgabe vor.

Es wird angenommen, dass die Sprache L entscheidbar sei. Dann muss eine TM M_L existieren, die L entscheidet. Für die Reduktion, also die Konvertierung von Probleminstanzen eines bekannten, unentscheidbaren Problems in Instanzen von L, wird eine Konstruktion beschrieben, die das leistet. Aus einer beliebigen TM A und einem beliebigen Wort w wird eine TM $M_{A,w}$ konstruiert, die A auf w simuliert, wenn sie mit einem Wort aus der Menge {a}* auf dem Band gestartet wird. Wenn A hält, wechselt $M_{A,w}$ in einen akzeptierenden Zustand. Wenn A nicht hält, simuliert $M_{A,w}$ weiter und hält nicht. Wenn das Wort auf dem Band nicht Element der Menge {a}* ist, wechselt $M_{A,w}$ in einem nichtakzeptierenden Zustand und hält. Ist die TM $M_{A,w}$ so konstruiert, akzeptiert sie die Sprache $L(M_{A,w})$ = {a}* genau dann, wenn A auf w hält. Wenn A auf w nicht hält, ist $L(M_{A,w})$ leer und nur in diesem Fall endlich. Sei nun M_H eine TM, die das Halteproblem

[4] FGI2 hat wenig Überschneidungen mit FGI1 und behandelt Parallelität und Nebenläufigkeit

entscheiden soll. Falls M_H <A,w> als Input erhält, konstruiert M_H die beschriebene TM $M_{A,w}$. Die erstellte Maschine wird dann als Input an M_L übergeben. Abb. 1 illustriert die beschriebene Konstruktion. Aus dem Input A,w von M_H (links) wird die $M_{A,w}$ konstruiert und dient als Input der TM M_L. Es liegen nun die folgenden beiden Fälle vor: Wenn M_L akzeptiert, lehnt M_H ab, und wenn M_L ablehnt, akzeptiert M_H. Durch diese Konstruktion mit M_L, M_H und $M_{A,w}$ entscheidet M_H das Halteproblem, da M_H immer hält und akzeptiert, wenn $L(M_{A,w}) = \{a\}^*$. Die Bedingung dafür ist, dass A auf w halten muss.

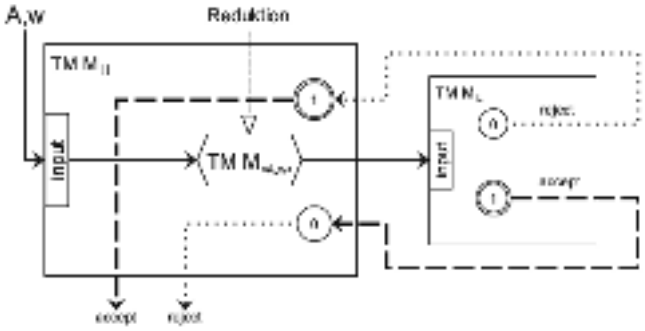


Abb. 1: Darstellung der Turing-Maschinen für den Reduktionsbeweis, die gestrichelten Linien stellen einen akzeptierenden Output und die gepunkteten Linien einen ablehnenden Output dar.

Die beschriebene Konstruktion ist so in der Lage das Halteproblem zu entscheiden. Da aber bewiesen ist, dass das Halteproblem unentscheidbar ist, kann eine solche Konstruktion eigentlich nicht existieren. Unsere Annahme, dass L entscheidbar ist, muss entsprechend falsch sein und L ist somit unentscheidbar. □

4 Ergebnisse

Um das Prozesshafte der einzelnen, kategorisierten Textstellen in ihrem Zusammenwirken zu visualisieren, haben wir deren prozentualen Anteil pro Zeiteinheit von fünf Minuten mit einem Balkendiagramm visualisiert (siehe Abb. 2). Jeder Balken stellt dabei eine feste Zeiteinheit dar und die Balkenanordnung von links nach rechts die chronologische Abfolge der Arbeitssitzung. Das Tortendiagramm bezieht sich auf den zeitlichen Umfang, in welchem sich kategorisierte Tätigkeiten in der gesamten Sitzung darstellten. Diese Diagramme geben einen Überblick über die konstant wechselnden Aktivitäten eines Gruppenarbeitsprozesses. So verbringen die Studierenden mehr als 50% der Gesamtzeit damit, die Aufgabe, Definitionen, und mögliche Lösungsansätze zu klären und erst spät (ca. ab Minute 35) gehen sie dazu über, eine Lösung zu entwickeln und aufzuschreiben.

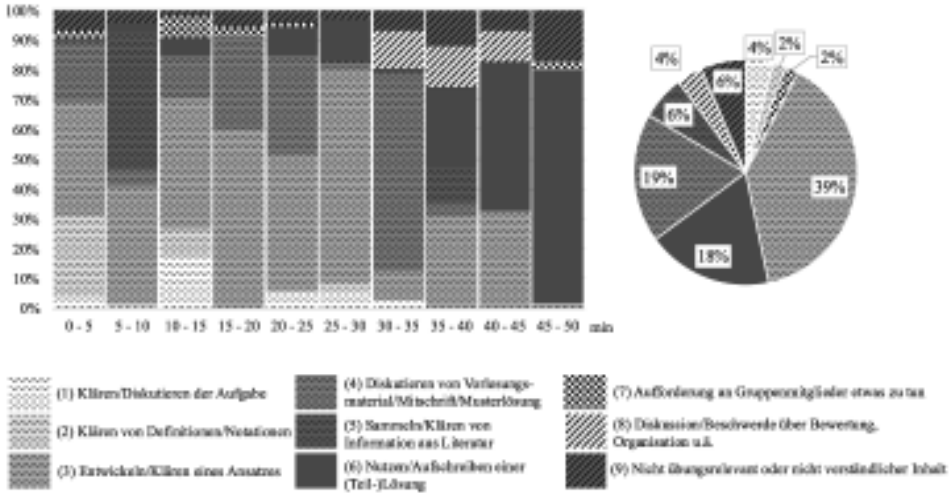


Abb. 2: Prozentualer Gesamtanteil an Kategorien im Verlauf der Gruppenarbeit (links), Prozentualer Anteil während der gesamten Gruppenarbeit (rechts)

Im Folgenden wird der Ablauf der Studie zusammenfassend nach den primär auftretenden Kategorien beschrieben. Letztere sind durchnummeriert in Abb. 2 aufgelistet, auf welche sich im Weiteren durch ihre korrespondierende Nummer in Klammern bezogen wird.

Minute 0 – 5: Die Studierenden versuchen vorrangig das Konzept der Turing-Maschine und Entscheidbarkeit zu verstehen (2) und nachzuvollziehen wie die Turing-Maschinen aus der Aufgabenstellung funktionieren soll (3). Dafür nutzen sie ihre Mitschrift aus der Übung und versuchen sie auf die neue Aufgabe anzuwenden (4). Am Ende der ersten fünf Minuten sind sie sich einig, dass sie eine angenommene Entscheidbarkeit aus der Aufgabestellung zum Widerspruch führen müssen, sind sich aber nicht ganz sicher wie sie dabei vorgehen sollen. **Minute 5 – 10**: Ein Großteil der nächsten Zeit wird darauf verwendet ein Beispiel aus einem Buch zu besprechen, das Unentscheidbarkeit mit Hilfe eines Paradoxons beschreibt (5). Die Studierenden machen ihre Unschlüssigkeit darüber deutlich, ob ihnen dieses Beispiel dabei weiterhilft, Entscheidbarkeit richtig zu verstehen. Die Studierenden diskutieren darüber, wie die Turing-Maschinen verschachtelt werden sollen und wie genau ihre Funktionsweisen bzw. Eingaben sind (3). **Minute 10 – 15**: Auf der Suche nach der Lösung, beginnen die Studierenden darüber zu diskutieren, wie sie das Verfahren in der Übung verstanden haben, aber das es hier nicht anwendbar zu sein scheint (4). Sie können nicht mehr nachvollziehen, wieso sie in der Übung das Halteproblem verwendet haben und zu einem Widerspruchsbeweis gekommen sind (4). Die Studierenden beschließen erst einmal einen Schritt zurück zu gehen und prüfen jetzt, ob sie die Aufgabenstellung korrekt verstanden haben (1). Weiterhin versuchen sie eine Definition des Begriffs Entscheidbarkeit zu finden. Um sich zu versichern, was sie schon wissen, definieren sie Entscheidbarkeit an dem Konzept der regulären Sprachen (2). Ihre Feststellung, dass sie eine Turing-Maschine haben, die eine Sprache akzeptiert und es eine

andere Turing-Maschine gibt, die eben diese Turing-Maschine akzeptiert (3), halten sie am Whiteboard fest (7). **Minute 15 – 30:** Die Studierende diskutieren in dieser Zeit ausführlich ihre Notizen aus der Übung und versuchen weiterhin die Lösung aus der Übung zu verstehen. Sie glauben, dass die Funktionsweisen ihrer Turing-Maschinen das unlösbare Halteproblem lösen (4). Um diesen Ansatz nachzuvollziehen, nutzen sie das Whiteboard und verdeutlichen hieran die Ein- und Ausgaben ihrer Turing-Maschinen (3). **Minute 30 – 35**: Sie vergleichen ihren Ansatz mit der Lösung aus der Übung, um zu verstehen, ob ihre vorher gewählte Begründung bezüglich der Lösung des Halteproblems genügen würde (4). Anschließend diskutieren die Studierenden, wie sie ihre Beweisidee richtig verschriftlichen könnten, wobei sie auf die online verfügbare Musterlösung der Präsenzaufgabe zurückgreifen, da die Lösung in der Übung für sie im Nachhinein nicht verständlich aufgeschrieben war (4). Als die Studierenden die Musterlösung finden, stellt sich heraus, dass einer der Studierenden seit Beginn die Mitschrift zu einer anderen (in diesem Fall eine ähnliche, aber nicht passende) Aufgabe angeschaut hat als seine Mitstudierenden (4). **Minute 35 – 40:** Die Studierenden versuchen die Musterlösung nachzuvollziehen und sind sich ihrer eigenen Lösung dabei relativ sicher, so dass sie diese verschriftlichen wollen (6). Sie wollen es anschließend nicht so aufschreiben wie der Übungsgruppenleiter, da sie der Meinung sind, dass es den Anforderungen des Korrigierenden nicht genügt (6). Sie diskutieren, ob sie mehr Text oder die Zeichnung hinzufügen sollten, meinen aber, dass auch das dem Übungsgruppenleiter nicht reichen wird (8). **Minute 40 – 50**: Sie stellen fest, dass sie nicht genau wissen, wie formal sie beim Aufschreiben sein müssen (8). Letztendlich entscheiden sie, dass ihre Lösung nicht schlechter sei das, was sie aus der Übung mitgenommen haben und ihr "Grundgerüst" richtig sei (6). Sie wollen die Zeichnung zusammen mit einem erläuternden Text abgeben, sind sich mit der schriftlichen Art der Lösung aber noch nicht ganz einig (6). Schließlich beenden sie die Sitzung und einer der Studierenden ist nicht ganz zufrieden, möchte aber die Tage weiter darüber nachdenken.

Um den Arbeitsprozess der Gruppe verstehen und einordnen zu können, wurde zusätzlich ihr Vorgehen während der Studiensitzung und ihr Lösungsvorschlag mit der Musterlösung aus Abschnitt 3 verglichen. Darauf wollen wir nun genauer eingehen. Binnen der ersten fünf Minuten haben sich die Studierenden gemäß der Methodik aus Vorlesung und Übung für einen Widerspruchsbeweis mit einer Reduktion entschieden. Sie treffen auch die für den Widerspruchsbeweis wichtige Annahme, dass eine Turing-Maschine als entscheidbar angenommen werden muss. Allerdings nimmt nur ein Student das Problem L aus der Aufgabenstellung als entscheidbar an, während die übrigen Studierenden erstmal andere Turing-Maschinen als entscheidbar annehmen. In Minute 5-10 entnahmen die Studierenden der Präsenzaufgabenlösung die Idee, zwei Turing-Maschinen zu verknüpfen. Hier sind sie mit der Musterlösung konform. Die Verknüpfung besteht allerdings darin, dass eine Turing-Maschine die Eingabe für die andere ist. Dass die Turing-Maschine für L gemäß Musterlösung als Unterroutine für die Turing-Maschine eines unentscheidbaren Problems, wie z.B. des Halteproblems, dienen soll, fehlt hier allerdings. In Minute 10-15 wollen die Studierenden für ihren Beweis das Halteproblem nutzen, von dem sie wissen, dass es unentscheidbar ist. Aber erst im Zeitblock zwischen

Minute 15 und 30 gelangen sie zu einem Punkt, an dem sie glauben das eigentlich unentscheidbare Halteproblem mit ihrer Annahme und ihrem Beweis zu lösen und somit einen validen Widerspruch zu haben. Ihr Lösungsansatz definiert eine Turing-Maschine M,w, die als Eingabe L(M) bekommt und 1 beim Anhalten und 0 beim Nichtanhalten ausgibt, wobei hierbei weiter simuliert werden soll. M,w dient dann als Input für die Turing-Maschine H (Halteproblem), welche dann entweder 1 (entscheidbar) und 0 (nicht entscheidbar) ausgibt. Die Studierenden liefern in ihrem Lösungsvorschlag allerdings keinen wirklichen Reduktionsbeweis. So kommt das eigentliche Problem L nur im Lösungsvorschlag von P1 vor (und das eigentlich nur in der Annahme) und die Turing-Maschinen, die sie verwenden, sind nur grob grafisch umrissen. Bei ihnen werden nur Namen, Input und Ausgabeverhalten definiert. Eine Reduktion, also die Umwandlung von Probleminstanzen von einer Turing-Maschine für L zu einer Turing-Maschine für das Halteproblem, fehlt völlig. Den Widerspruch verorten die Studierenden in der Tatsache, dass ihre TM M,w nun das Halteproblem löst. Den Widerspruch beim Halteproblem zu vermuten ist richtig und so auch in der Musterlösung zu finden. Allerdings wird aufgrund mangelnder Erklärung der Turing-Maschinen und ihrer Funktionsweise nicht klar, warum die Turing-Maschine dies tun soll. Durch die fehlende Reduktion fehlt zudem eine korrekte Verknüpfung zwischen den Maschinen. Die Studierenden weichen, bis auf ihre Absichtserklärung L als entscheidbar anzunehmen und einen Widerspruchsbeweis mit L und H führen zu wollen, stark von der Musterlösung ab. Ausgehend von den präsentierten Lösungsvorschlägen wäre dies durch einen Tutor wohl mit 0–0,5 von 4 möglichen Punkten bewertet worden.

5 Diskussion

Die Interaktionsanalyse ergab insgesamt fünf Kernbeobachtungen, die die Arbeitssitzung der Studierenden besonders charakterisieren. Diese wollen wir nun zusammenfassend vorstellen.

Verständnisschwierigkeiten hinsichtlich Turing-Maschinen: Verschiedene Indizien im Verlauf der Sitzung deuten darauf hin, dass die Studierenden das Konzept der Turing-Maschine und ihre Eigenschaften nicht vollständig durchdrungen haben. Dies zeigt sich zuerst in Minute 5-10, wenn die Studierenden diskutieren, wie die Turing-Maschinen in ihrem Beweisansatz interagieren sollen. Die Studierenden erkennen dabei nicht, dass die Akzeptanz einer Turing-Maschine nicht das Gleiche ist, wie ihr Output auf Maschinenband. So verwechseln sie die Ausgabe 0 der Turing-Maschine für Nichtakzeptanz mit der Ausgabe 0 als auf dem Band geschriebenes Ergebnis. Zudem versuchen die Studierenden für ihren Reduktionsbeweis nicht einen Reduktionsalgorithmus zu finden, sondern beschäftigen sich primär damit, wie sie zwei Turing-Maschinen (eine für das Halteproblem und eine für ihr neues Problem L) verknüpfen können. Die beiden von ihnen skizzierten Turing-Maschinen betrachten sie nur oberflächlich, indem sie ihnen eine Bezeichnung geben und Input und Output definieren. Wie die Maschinen intern funktionieren und wie ihr Laufzeitverhalten

aussieht, wird nicht besprochen oder aufgeschrieben.

Defizite im Erstellen formal korrekter Beweise: Sowohl in den mündlichen Formulierungen als auch in ihren schriftlichen Notizen, nutzen die Studierenden kaum mathematische Sprache, um einen formal korrekten Beweis zu entwickeln. Die Studierenden behelfen sich stattdessen mit umgangssprachlichen Beschreibungen für ihren Beweis. Die Studierenden scheinen aber verstanden zu haben, dass sie einen Widerspruchsbeweis führen müssen und dafür eine Reduktion benötigen und dass sie hierfür eine Annahme stellen und Turing-Maschinen miteinander verknüpfen müssen. Auch sind sie in der Lage, vorangegangene Kenntnisse auf die Problemstellung zu übertragen. Dies demonstrieren sie z.B. in Minute 10-15, als sie zur Klärung des Begriffs „Entscheidbarkeit" einfachere, ihnen bereits bekannte Automatenmodelle und Sprachfamilien (DFAs, NFAs und reguläre Sprachen) heranziehen und erkennen, dass diese entscheidbar und durch Turing-Maschinen darstellbar sind. Es fehlen ihnen allerdings Fachkompetenzen, um darauf basierend einen formal korrekten Beweis zu erstellen.

Verbesserte Gruppenarbeit durch gemeinsame Arbeitswerkzeuge: Eine weitere Beobachtung, die während der Analyse auffällt, ist die Art und Weise, wie die Gruppe ein Whiteboard ab Minute 10-15 in ihren Arbeitsprozess einbaut. Die Nutzung zeigt positive Effekte auf die Gruppenarbeit. So nutzten die Studierenden das Board, um Skizzen ihrer Turing-Maschinen zu präsentieren, und beziehen sich in den darauffolgenden Gesprächen stets auf die Whiteboard-Notizen, die sie regelmäßig aktualisieren und ergänzen. Auch für die finale, schriftliche Version ihres Beweises nutzen die Studierenden ihre am Whiteboard erstellten Notizen. Im Interview gaben die Studierenden an, sonst immer ohne Tafel oder Whiteboard ihre Übungsaufgaben zu arbeiten (Die Beobachtungsstudie wurde in einem Raum mit Whiteboard durchgeführt). Hier merkten sie ergänzend an, das Whiteboard für die Gruppenarbeit als hilfreich empfunden zu haben, da sie Fehler ohne großen Aufwand korrigieren konnten, alle Gruppenmitglieder auf dem gleichen Stand sein konnten und jeder nachvollziehen konnte, was jeweils die Person macht, die etwas aufschreibt.

Nutzung von bereitgestellten Materialien: Zur Erarbeitung ihres Lösungsvorschlages nutzen die Studierenden während der ersten 30 Minuten nur das, woran sie sich ohne Unterlagen aus der Vorlesung und der Übung erinnern. Als einzige externe Quelle kommt das Lehrbuch „Theoretische Grundlagen der Informatik" [So08] zum Einsatz, welches einer der Gruppenmitglieder zusätzlich zur Vorlesung und Übung nutzt. Aus diesem Buch wird ein Beispiel für Unentscheidbarkeit zitiert (sog. Barbierparadoxon) und die Gruppe versucht dieses auf ihren Lösungsvorschlag zu übertragen. Das Beispiel passt insgesamt jedoch nicht zu einem Reduktionsbeweis und verwirrt die übrigen zwei Studierenden. Die Gruppe nutzt keine weiteren Materialien oder Quellen für ihren Beweisansatz. Die vom Dozenten bereitgestellten Vorlesungsfolien, Vorlesungsaufzeichnungen, das Online-Skript sowie das in der Vorlesung empfohlene Buch von Hopcroft et. al. [HMU01] werden während der gesamten Gruppensitzung nicht erwähnt und auch nicht genutzt. Das einzige Material, welches vom Lehrenden stammt und während der Sitzung eingesetzt wird, ist

die Musterlösung zu einer Aufgabe, die ebenfalls einen Reduktionsbeweis nutzt und in der Übung sowohl bearbeitet als auch besprochen wurde. Diese Musterlösung soll den Studierenden im Sinne einer „Blaupause“ helfen, ihren eigenen Beweis zu führen. Die Musterlösung wird jedoch erst nach Minute 30 aufgeschlagen, um zu klären, wie der eigene bisher besprochene Lösungsansatz aufgeschrieben werden sollte.

Nichterkennen von Fehlern: Im Hinblick auf die Musterlösung ist die durch die Studierenden entwickelte Lösung mangelhaft, insbesondere was die Reduktion betrifft. So spielt die erste und zweite Beobachtung hier eine entscheidende Rolle. Die Studierenden scheinen sich aber während der Arbeitssitzung nicht dessen bewusst zu sein, dass sie Fehler machen. So äußert ein Student in Minute 10-15, dass er den Beweis in der Übung verstanden hat und gemäß dem Verfahren in der Vorlesung vorgegangen ist. Ein weiterer Student bestätigt das[5]. Auch die Motivation der Studierenden sich mit der Musterlösung zu befassen, fußt nicht auf der Idee ihren Ansatz an sich zu verbessern, sondern sich an der Schreibweise und schriftlichen Struktur der Musterlösung zu orientieren. Bei der Auseinandersetzung mit der Musterlösung kommt die Gruppe zu dem Schluss, die Aufgabe aus ihrer Sicht gut gelöst zu haben[6] und beginnt anschließend mit der Verschriftlichung. Sie erkennen in der Musterlösung nicht jene relevanten Stellen, an denen die Beweisarbeit geleistet werden muss und sehen entsprechend nicht, dass in ihrer Lösung essentielle Beweisbestandteile fehlen.

Die genannten Beobachtungen deuten insgesamt darauf hin, dass die Studierenden Schwierigkeiten damit hatten, ihren Ansatz korrekt zu beurteilen und dessen Qualität richtig einzuschätzen. Sie konnten zwar mit den Grundbegriffen der Reduktion arbeiten und hatten eine grobe Idee, wie der Beweis über die Konstruktion miteinander arbeitender Turing-Maschinen umgesetzt wird, erarbeiteten den eigentlichen Reduktionsalgorithmus jedoch nicht. Über das Fehlen der Reduktion in ihrem Ansatz schienen sie sich nicht bewusst zu sein und interpretierten die Weitergabe des Outputs einer Turing-Maschine an eine andere als die eigentliche Reduktion und Verknüpfung der auftretenden Maschinen (siehe Musterlösung in Abschnitt 2). Dies deutet erneut daraufhin, dass die Studierenden allgemein Probleme mit der formalen Beweisentwicklung haben. Als einen möglichen Lösungsvorschlag für diese Probleme haben wir an der Universität Hamburg angefangen, interaktive Beweisassistenten zu nutzen, um Bachelor-Studierende in der Entwicklung von Beweisaufgaben zu unterstützen. Die Studierenden haben mit dem interaktiven Beweisassistenten Beweisaufgaben aus den Themenbereich „Logik“ und „Datenstrukturen“ mit dem Beweisassistenten Coq gelöst, um sich intensiver mit der Herangehensweise der Beweisentwicklung und deren Struktur zu beschäftigen [KFB17]. Ein solcher Ansatz stellt eine Möglichkeit dar, die in dieser Arbeit beobachten Probleme der Studierenden durch fachdidaktische Maßnahmen anzugehen. Auch in der Mathematikdidaktik werden Ansätze diskutiert, die sogenannte intelligente Tutorensysteme einsetzen oder verstärkt auf Kompetenzentwicklung

[5] „Ja, in der Übung hatte ich das so verstanden, dass wir irgendwann benutzten, dass TM H halt das Haltproblem quasi ist und wir das deswegen nicht lösen können, weil wir halt nicht wissen, ob die irgendwann anhält oder nicht.“ –Student 2

[6] „Ja, also eigentlich haben wir das/ ist das schon relativ richtig.“ –Student 2

fokussieren [ADS12, SDB08, SN04].

6 Fazit

In diesem Artikel wurde eine Einzelfallstudie vorgestellt, in der drei Informatik Bachelorstudierende beobachtet wurden, wie sie eine Unentscheidbarkeitsaufgabe mit Turing-Maschinen aus der Theoretischen Informatik bearbeiten. Für die Analyse wurde eine angepasste Variante der Inhaltsanalyse nach Krummheuer sowie qualitative Inhaltsanalyse nach Mayring genutzt. Im Ergebnis konnten Verständnisschwierigkeiten von Turing-Maschinen sowie Defizite in der Entwicklung formal korrekter Beweise bei den Studierenden beobachtet werden. Hier wurde besonders deutlich, dass die Studierenden vom Ansatz her, die Aufgabe zwar richtig bearbeitet hatten, aber wesentliche Beweiselemente in ihrer Lösung fehlten. Dieses Ergebnis ist relevant, weil vielfach angenommen wird, dass Informatikstudierenden ausreichend Motivation und Interesse fehlt, um sich erfolgreich mit Theoretischer Informatik auseinanderzusetzen. Die hier vorliegenden Ergebnisse zeigen, dass die Schwierigkeiten differenzierter zu betrachten sind und neben motivationalen Aspekten mathematische Grundlagen im Entwickeln und Aufschreiben formaler Beweise in der Theoretischen Informatik eine Rolle spielen können.

Literaturverzeichnis

[ADS12] Autexier, S.; Dietrich, A.;Schiller, M. Towards an Intelligent Tutor for Mathematical Proofs. In: Proceedings THedu'11: 1-28, 2012.

[Ba09] Bachmann, G.: Teilnehmende Beobachtung. In (Kühl, S.; Strodtholz, P.; Taffertshofer, A; Hrsg.): Handbuch Methoden der Organisationsforschung: Quantitative und Qualitative Methoden, VS Verlag für Sozialwissenschaften, Wiesbaden, 1. Auflage, S. 248-271, 2009.

[CGM04] Chesñevar, C.; González, M.; Maguitman, A.: Didactic strategies for promoting significant learning in formal languages and automata theory. In: Proceedings of the 9th annual SIGCSE conference on Innovation and technology in computer science education, ITiCSE '04, S. 7-11, 2004.

[Hä04] Hämäläinen, W.: Problem-based learning of theoretical computer science. In: Proceedings of the 34th ASEE/IEEE Frontiers in Education Conference, S1H/1-S1H/6, 2004.

[He17] Heublein, U.; Ebert, J.; Hutzsch, C.; Isleib, S.; König, R.; Richter, J.; Woisch, A.: Zwischen Studienerwartungen und Studienwirklichkeit. DZHW, Hannover, 2017.

[HMU01] Hopcroft, J. E.; Motwani, R.; Ullman J. D.: Introduction to Automata Theory, Languages and Computation. Addison-Wesley, 2. Auflage, 2001.

[KF16] Knobelsdorf, M.; Frede, C.: Analyzing Student Practices in Theory of Computation in Light of Distributed Cognition Theory. In: Proceedings of the Conference on International Computing Education Research (ICER ‘16). S. 73-81, ACM, 2016.

[Ki17] Kiehn, F.: Empirische Untersuchung von Studierendengruppen bei der Bearbeitung einer Übungsaufgabe aus der Theoretischen Informatik. Masterarbeit, Universität Hamburg, 2017

[Kn17] Knobelsdorf, M.; Frede C.; Böhne S.; Kreitz C.: Theorem Provers as a Learning Tool in Theory of Computation. In: Proceedings of the 2017 ACM Conference on International Computing Education Research (ICER ’17), ACM, 2017

[Ko07] Korte, L.; Anderson, S.; Pain, H.; Good, J.: Learning by Game-building: A Novel Approach to Theoretical Computer Science Education. In: SIGCSE Bull. 03/07, S. 53-57, 2007

[Kr12] Krummheuer, G.: Die Interaktionsanalyse. In (Heinzel, F., Hrsg.): Methoden der Kindheitsforschung. 2. Auflage, Beltz Juventa, Weinheim, S. 324-247, 2012.

[Ma10] Mayring, P.: Qualitative Content Analysis. Forum: Qualitative Social Research 2/2010, http://www.qualitative-research.net/index.php/fqs/article/view/1089, Abrufdatum: 21.04.2017

[PL14] Parker, M.; Lewis, C.: What Makes big-O Analysis Difficult: Understanding How Students Understand Runtime Analysis. J. Comput. Sci. Coll., 04/14, S. 164-174, 2014.

[SDB08] Schiller M.; Dietrich D.; Benzmüller C. Proof step analysis for proof tutoring– a learning approach to granularity. Teaching Mathematics and Computer Science 6.2: 325-343, 2008.

[Si07] Sigman, S.; Engaging students in formal language theory and theory of computation. SIGCSE Bull. 01/07, S. 450-453, 2007.

[SN04] Sommer, R; Nuckols, G. A Proof Environment for Teaching Mathematics. Journal of Automated Reasoning, Volume 32(3): 227-258, 2004.

[So08] Socher, R.: Theoretische Grundlagen der Informatik. Carl Hauser Verlag, München, 3. Auflage, 2008.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 279

10 Jahre automatische Bewertung von Programmieraufgaben mit JACK – Rückblick und Ausblick

Michael Goedicke[1] und Michael Striewe[2]

Abstract: Das E-Assessment-System JACK ist seit nunmehr 10 Jahren für die Programmierausbildung von Studierenden im ersten Fachsemester im Einsatz. Der Beitrag blickt auf die dabei gemachten Erfahrungen zurück, ordnet sie in den Kontext der aktuellen Forschung ein und stellt einige Thesen über die zukünftige Entwicklung automatischer Übungs- und Prüfungssysteme in der Informatik auf.

Keywords: E-Assessment, Programmierausbildung, Feedback

1 Einleitung

Die frühen 2000er-Jahre bescherten vielen Informatik-Studiengängen stark wachsende Teilnehmerzahlen und damit auch viele Studierende in den Einführungsvorlesungen zur Programmierung. Auch an der Universität Duisburg-Essen ging dieser Trend nicht vorbei. Es konnte jedoch bald beobachtet werden, dass sich eine große Mehrheit der Studierenden nicht intensiv mit der Materie beschäftigte und insbesondere auf praktische Übungen verzichtete sowie entsprechende Übungsaufgaben nur unzureichend bearbeitete. Dies kann freilich nicht zum gewünschten Lernerfolg führen [Ko15]. Um dem entgegen zu wirken, wurden zunächst semesterbegleitende Testate in Form kurzer Prüfungsgespräche eingeführt, die sich jedoch sehr schnell als viel zu hohe organisatorische und zeitliche Belastung für den Lehrstuhl herausstellten.

Daraus entstand der Bedarf nach einer automatisierten Lösung, zu deren Realisierung ab 2006 das System JACK entwickelt wurde. Ein besonderer Fokus der Eigenentwicklung lag im Vergleich zu damals bereits verfügbaren vergleichbaren Systemen auf einer flexiblen Systemarchitektur und der Ermöglichung aufgabenspezifischer statischer Überprüfungen. Sehr schnell kam auch eine Integration in die Programmierumgebung Eclipse hinzu, da diese als Standardsoftware in den Rechnerpools zur Verfügung steht, über die die semesterbegleitenden Testate abgewickelt werden. Den ersten Einsatz im Testatbetrieb hatte JACK im Wintersemester 2006/07. Ein Jahr später wurde JACK auch in vollem Umfang im Übungsbetrieb eingesetzt [SGB08].

[1] paluno – The Ruhr Institute for Software Technology, Universität Duisburg-Essen, Gerlingstraße 16, 45127 Essen, michael.goedicke@paluno.uni-due.de
[2] paluno – The Ruhr Institute for Software Technology, Universität Duisburg-Essen, Gerlingstraße 16, 45127 Essen, michael.striewe@paluno.uni-due.de

doi:10.18420/in2017_21

2 Didaktisches Konzept und Einsatzerfahrungen

Für die Studiengänge „Angewandte Informatik“ und „Wirtschaftsinformatik“ ist die Einführung in die objektorientierte Programmierung mit Java Pflichtveranstaltung im ersten Semester. Der Einsatz von JACK ist zunächst genau auf diese Situation zugeschnitten und an mehreren Stellen in das Veranstaltungskonzept der Programmiervorlesung eingebettet: Alle zwei Wochen im Semester finden Testate statt, die von den Studierenden in 45 Minuten unter Aufsicht im Rechnerpool bearbeitet werden. Die eingereichten Lösungen werden von JACK bewertet und mit Feedback versehen, das nach dem Testat eingesehen werden kann. Aus den Testaten muss eine Mindestpunktzahl erworben werden, um zur Abschlussklausur zugelassen zu werden. Zu jedem Testat gibt es eine größere vorbereitende Übungsaufgabe, die von zu Hause aus bearbeitet werden soll. Auch diese werden von JACK bewertet und mit Feedback versehen. Die Übungsaufgaben müssen bearbeitet werden, um am jeweiligen Testat teilnehmen zu dürfen. Die erreichte Punktzahl ist dabei jedoch unerheblich.

Darüber hinaus gibt es im Semesterverlauf in loser Folge weitere freie Übungsaufgaben sowie eingebettete Übungen in der Vorlesung, die ebenfalls in JACK bearbeitet werden können, um Feedback zu erhalten. Ferner wird ein freiwilliges Programmiertutorium angeboten, in dem studentische Tutoren bei allen Fragen rund um den Vorlesungsstoff und die Übungsaufgaben weiterhelfen. Auch die Einsicht in die Bewertung der Testate erfolgt im Rahmen dieses Tutoriums.

Insgesamt wurden vom Wintersemester 2006/07 bis einschließlich Wintersemester 2016/17 mehr als 65.000 Testat-Lösungen und über 100.000 Lösungen zu vorbereitenden Übungsaufgaben geprüft und mit Feedback versehen. Im Schnitt reichen die Studierenden 3,6 Lösungen zu Übungsaufgaben und 2,5 Lösungen zu Testataufgaben ein, wobei es in den ersten Semestern eine gewisse Zurückhaltung gab und die Zahlen in den jüngeren Jahrgängen steigen. Nicht berücksichtigt sind in diesen Zahlen die Einreichungen zu freien Übungsaufgaben und eingebetteten Übungen.

Der Einsatz von JACK wurde in mehreren Semestern durch eine umfangreiche Evaluation begleitet um herauszufinden, ob JACK von den Studierenden als hilfreich für Übungen oder Testate betrachtet wird. In der Summe mehrerer Befragungen, in die die Meinungen von über 300 Studierenden einfließen, wurde JACK von 75% als vollständig oder weitgehend nützlich im Übungsbetrieb sowie von 68% als vollständig oder weitgehend nützlich im Testatbetrieb betrachtet.

Diese positiven Erfahrungen haben dazu geführt, dass der Funktionsumfang von JACK kontinuierlich erweitert wurde. Die flexible Architektur ermöglichte es insbesondere, mit geringem Aufwand – zum Teil im Rahmen studentischer Projekt- und Abschlussarbeiten – die automatische Überprüfung weiterer Programmiersprachen (z.B. Python und C#) zumindest prototypisch zu realisieren [Str16]. Mangels Lehrveranstaltungen in diesen Sprachen wurden diese Erweiterungen jedoch bisher nicht großflächig eingesetzt. Die Erfahrungen konnten aber genutzt werden, um vergleichbare technische und didaktische

Konzepte auch auf Übungen in der Statistik-Sprache R für den Einsatz in Statistik-Vorlesungen der Wirtschaftswissenschaften zu realisieren. Auch dafür wurden inzwischen Übungen und Testate in Grundlagenvorlesungen erfolgreich absolviert.

3 Stand der Forschung und Technik

Weder mit seinem Alter noch mit dem Einsatzszenario hebt sich JACK signifikant von vergleichbaren Systemen ab [Iha+10] [KJH16]. Tatsächlich kann der Einsatz von automatischen Bewertungs- und Feedbacksystemen für den Übungs- oder Prüfungsbetrieb heute sowohl von den technischen Möglichkeiten als auch von der didaktischen Einbettung her als etablierter Stand der Technik betrachtet werden. Es gibt jedoch noch eine große Spannbreite bei der Art und Weise, wie diese Systeme Feedback ermitteln und bereitstellen sowie bei der Granularität der erzeugten Bewertungen.

Aus didaktischer Sicht ist möglichst umfangreiches Feedback wünschenswert, um selbstgesteuertes Lernen zu ermöglichen [BW95] [Fal+14]. Auch wenn klar ist, dass ein automatisiertes System einen menschlichen Tutor nicht ersetzen kann und soll, sollte der Qualitätsverlust, der mit dem Ersetzen eines menschlichen Tutors durch ein automatisiertes System einhergeht, doch so gering wie möglich gehalten werden. Die genauen Stärken und Schwächen automatisierter Systeme im Vergleich zu mensch-lichem Feedback sind jedoch auch heute noch Gegenstand der Forschung [GDG14].

JACK setzt aufgrund der flexiblen Systemarchitektur auf den kombinierten Einsatz verschiedener Analysetechniken, um möglichst vielfältiges Feedback erzeugen zu können. Die klassische Ausführung von Testfällen wird dabei ergänzt durch eine Aufzeichnung von Traces, die es den Studierenden ermöglichen, das Verhalten ihrer Lösung auch ohne Einarbeitung in Debugging-Werkzeuge Schritt für Schritt nachzu-vollziehen. Ferner kann JACK Visualisierungen von Datenstrukturen erzeugen, die im Rahmen der Aufgabe von den Studierenden manipuliert werden. Dies ermöglicht neben der indirekten Kontrolle des Programmierergebnisses über Feedback und Bewertung sowie der textuellen Kontrolle über Konsolenausgaben auch eine visuelle Kontrolle.

Ein zweiter Schwerpunkt von JACK sind detaillierte statische Checks. Hier hebt sich JACK von vergleichbaren Systemen ab, indem keine externen Werkzeuge oder fertigen Kataloge von statischen Prüfungen zum Einsatz kommen, sondern statische Code-Checks individuell pro Aufgabe konfiguriert werden können. So können nicht nur stilistische Schwächen oder typische Programmierfehler erkannt werden, sondern es kann beliebig detailliertes Feedback zu einzelnen Konstrukten gegeben werden.

4 Ausblick

Aus didaktischer Sicht besonders interessant und vielversprechend ist, dass mit der zu-

nehmenden Verbreitung automatisierter Systeme zur Programmbewertung nun eine hinreichend große und umfassend analysierte (oder zumindest analysierbare) Menge an Daten verfügbar ist, auf deren Basis umfassende Studien zu Kompetenzmodellen und –strukturen für verschiedene Aspekte der Programmierung betrieben werden können [Iha+15]. Erste Ansätze, mit denen statistische Modelle wie das Rasch-Modell auf Programmieraufgaben angewendet werden können, wurden bereits im Kontext von JACK erprobt [Hub+17]. Es besteht die begründete Hoffnung, dass mit weiterer Forschung in den kommenden Jahren eine weitere Ebene des Feedbacks erschlossen werden kann, indem automatisierte Systeme nicht mehr nur Feedback zur konkreten Lösung einzelner Aufgaben geben, sondern auch Hinweise auf fehlenden Kompetenzen, die sowohl Lernenden als auch Lehrenden wertvolle Informationen liefern können.

Eine weitere sowohl didaktische als auch technische Forschungsherausforderung besteht in der Variabilität von Programmieraufgaben. Während es beispielsweise in der Mathematik möglich und üblich ist, Varianten von Aufgaben durch das geschickte Austauschen von Zahlenwerte zu erzeugen, fehlen derartige Konzepte für Programmieraufgaben nahezu vollständig. Angesichts des Aufwandes, der für das Erstellen einer guten Programmieraufgabe notwendig ist und der immer noch hohen Teilnehmerzahlen in Vorlesungen und Testaten sind Fortschritte in diesem Bereich jedoch sehr wünschenswert. Programmieraufgaben sind jedoch in der Regel so gestellt, dass der zu entwickelnde Programmcode eine Klasse von Problemen löst und nicht wie in der Mathematik eine konkrete Instanz eines Problems. Variabilisierung muss hier also auf einer anderen Ebene erfolgen und erfordert daher weitere intensive Forschung.

Verwandt mit der Frage der Variabilisierung ist die Frage nach dem Austausch von Aufgaben zwischen verschiedenen Systemen. Auch dazu gibt es in anderen Bereichen bereits standardisierte Formate, die für Programmieraufgaben noch weitgehend fehlen. Erste Lösungen werden vom ProFormA-Format angeboten, dass zumindest die flexible Beschreibung von Aufgaben und Bewertungsverfahren systemunabhängig unterstützt und von mehreren Systemen implementiert wird [Str+15]. Eine teilweise Unterstützung des Formats ist auch in JACK verfügbar, aber auch hier ist weder technisch noch inhaltlich-fachlich das Ende der Entwicklung bereits erreicht.

Aus anderen fachlichen Domänen – insbesondere der Mathematik – gibt es zudem beim Einsatz von JACK gute Erfahrungen mit mehrstufigen Aufgaben mit vermischten Item-Formaten, bei denen in späteren Stufen auf frühere Eingaben zurückgegriffen wird oder automatisch Folgefragen generiert werden. Es ist technisch denkbar und didaktisch wünschenswert, vergleichbare Konzepte auch für Programmieraufgaben zu entwickeln. So könnten in einer komplexen Aufgabe zunächst konzeptionelle Aspekte zu einer gegebenen Problemstellung abgefragt werden, um auf Basis der Antworten eine individuelle Programmieraufgabe zu generieren. Nach Eingabe eines entsprechenden Lösungsversuchs werden dann wiederum automatisch Folgefragen generiert, in denen die Studierenden ihren eigenen Code erläutern sollen, oder in denen eine alternative Lösung vergleichend diskutiert werden soll. Die automatische Bewertung von Programmieraufgaben würde damit im Sinne einer umfangreichen Analyse der abgegebenen Lösungen eine

noch deutlich weitergehende Einbettung in verschiedene Lernszenarien erfahren, als dies heute der Fall ist.

Literaturverzeichnis

[BW95] Butler, D.; Winne, P.: Feedback and Self-Regulated Learning: A Theoretical Synthesis. Review of Educational Research, 65 (3), 1995; S. 245-281.

[Fal+14] Falkner, N. et.al.: Increasing the Effectiveness of Automated Assessment by Increasing Marking Granularity and Feedback Units. In: Proceedings of the 45th ACM Technical Symposium on Computer Science Education. SIGCSE '14. ACM, 2014, S. 9–14. DOI: 10.1145/2538862.2538896.

[GDG14] Gaudencio, M.; Dantas, A.; Guerrero, D. D. S.: Can Computers Compare Student Code Solutions as Well as Teachers? Proceedings of the 45th ACM Technical Symposium on Computer Science Education, SIGCSE'14, 2014.

[Hub+17] Hubwieser, P.; Striewe, M.; Berges, M.; Goedicke, M.: Towards Competency Based Testing and Feedback. Proceedings of IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON), 2017

[Iha+10] Ihantola, P. et.al.: Review of Recent Systems for Automatic Assessment of Programming Assignments. In: Proceedings of the 10th Koli Calling International Conference on Computing Education Research. Koli Calling '10. ACM, 2010, S. 86–93. DOI: 10.1145/1930464.1930480.

[Iha+15] Ihantola, P.; Vihavainen, A.; Ahadi, A.; Butler, M.; Börstler, J.; Edwards, S. H.; Isohanni, E.; Korhonen, A.; Petersen, A.; Rivers, K.; Rubio, M. Á.; Sheard, J.; Skupas, B.; Spacco, J.; Szabo, C.; Toll, D.: Educational Data Mining and Learning Analytics in Programming: Literature Review and Case Studies. Proceedings of the 2015 ITiCSE Working Group Reports, 2015, 41-63

[KJH16] Keuning, H.; Jeuring, J.; Heeren, B.: Towards a Systematic Review of Automated Feedback Generation for Programming Exercises - Extended Version. Technical Report. Utrecht University, 2016

[Ko15] Koedinger, K. et. al.: Learning is not a Spectator Sport. In Proceedings of the Second ACM Conference on Learning @ Scale. ACM, New York, 2015; S. 111-120.

[SGB08] Striewe, M.; Goedicke, M.; Balz, M.: Computer Aided Assessments and Programming Exercises with JACK. Techn. Ber. 28. ICB, University of Duisburg-Essen, 2008.

[Str+15] Strickroth, S.; Striewe, M.; Müller, O.; Priss, U.; Becker, S.; Rod, O.; Garmann, R.; Bott, J. O.; Pinkwart, N.: ProFormA: An XML-based exchange format for programming tasks. eleed, 2015, 11

[Str16] Striewe, M.: An architecture for modular grading and feedback generation for complex exercises. In: Science of Computer Programming 129 (2016), S. 35–47. DOI: 10.1016/j.scico.2016.02.009.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 285

On the Flipped Side of Programming – Ein Durchführungskonzept für die Programmierausbildung als dynamischer Flipped Classroom

Wolfgang Golubski[1], Oliver Arnold[1,2] und Frank Grimm[1]

Abstract: Dieses Paper präsentiert ein Durchführungskonzept, das eine wesentliche Weiterentwicklung des Flipped-Classroom-Ansatzes darstellt und derzeit in der Programmierungsausbildung im ersten Semester angewendet wird. Dabei wird versucht, sowohl Anforderungen an Programmierer oder Software-Entwickler im beruflichen Umfeld wie auch die Heterogenität von Erstsemester-Studierenden zu berücksichtigen. Außerdem muss bei einem feingranularen Lehransatz die Durchführbarkeit sichergestellt werden. Im vorliegenden Fall wird dies durch ein Netzwerk von Bausteinen, das Lehrinhalte und zusätzliche didaktische Informationen bündelt, unterstützt.

Keywords: Flipped Classroom, Programmierung, Dynamik, Adaptivität

1 Einleitung

Die berufliche Tätigkeit als Programmierer oder Softwareentwickler stellt hohe Anforderungen an die technischen und sozialen (überfachlichen) Kompetenzen der Berufsausübenden. Teamfähigkeit, Kommunikation, Lernbereitschaft, Aufgeschlossenheit, Neugierde und Fokussierung werden genauso vorausgesetzt wie logisches Denken, siehe auch [SL11]. Typischerweise wird bereits in den ersten zwei Semestern eines Informatikstudienganges mit der Programmierungsausbildung begonnen. Um die genannten Anforderungen zu adressieren, werden Eigenverantwortlichkeit und Aktivität des Studierenden gefordert und gefördert. Programmierkenntnisse können sehr gut durch Lesen, Fragen, gemeinsames Lernen in Gruppen, kommunizieren mit anderen, durch kleine Projektarbeiten und ständigen Austausch von Wissen erlangt werden. Wichtig ist hierbei auch das Analysieren von und Reflektieren über neue Aufgabenstellungen.

Die Heterogenität der Studierenden des ersten Semesters stellt eine große Herausforderung für Lehrende dar, siehe auch [Ba15, HZG15]. Die Gründe sind vielfältig (u.a. unterschiedliche Ausbildungswege, soziale oder kulturelle Herkunft). Im Rahmen der Programmierungsausbildung kommen aufgrund der vorangegangenen Bildungswege noch sehr unterschiedliche Vorkenntnisse hinzu. Das Spektrum reicht hier von relativ erfahrenen Hobby-Programmierern oder auch Studierenden, die bereits eine Fachinformatiker-

[1] Westsächsische Hochschule Zwickau, Fak. Physikalische Technik/Informatik, Dr.-Friedrichs-Ring 2a, 08056 Zwickau, {golubski@fh-zwickau.de, oliver.arnold.1@fh-zwickau.de, frank.grimm@fh-zwickau.de}
[2] Gefördert aus Mitteln des BMBF-Projektes „Offene Hochschule Zwickau“ (Förderkennzeichen 16OH12018).

doi:10.18420/in2017_22

Ausbildung absolviert haben, bis hin zu Studierenden, die neben der oft recht oberflächlichen informatischen Vorbildung aus ihrer Schulzeit sehr geringe Informatikkenntnisse mitbringen. Diese starke Heterogenität stellt die Lehrenden vor eine schwierige Aufgabe.

Im vorliegenden Paper wird ein Durchführungskonzept vorgestellt, das auf der Basis des DIADEM(Dynamic Adaptive Classroom)-Modells [GAG17] und mit Unterstützung des Projekts „Offene Hochschule Zwickau“ entwickelt werden konnte. Grundlage ist die Flipped-Classroom-Methode, die explizit um Dynamik und Adaptivität sowie die damit einhergehende Komplexität der Abläufe erweitert wird. In der Praxis hat sich der Ansatz als so erfolgreich herausgestellt, dass er auf weitere Lehrveranstaltungen übertragen werden konnte.

Das Paper ist wie folgt gegliedert: Im nächsten Kapitel werden Grundlagen und die verwendeten Ansätze dargestellt, die den entwickelten Ansatz stark beeinflusst haben bzw. auf denen er basiert. Im Kapitel 3 wird zunächst der konkrete Ablauf der Lehrveranstaltung erläutert. Danach wird in Kapitel 4 das beschriebene Durchführungskonzept als Netzwerk von (Lehr-)Bausteinen dargestellt, um die Auswirkungen der Dynamik und der notwendigen Anpassungen besser aufzeigen zu können. Zum Abschluss werden Ergebnisse diskutiert und ein Ausblick gegeben.

2 Grundlagen und verwendete Ansätze

In diesem Paper wird ein Lehrkonzept vorgestellt, das grundlegende Ideen verschiedener Lehransätze wie Flipped Classroom, Community of Practice sowie kompetenz- und lernzielorientierte Methoden kombiniert. Die beiden grundlegenden Eckpfeiler des Lehrkonzeptes sind das gemeinsame Lernen und der umgedrehte Unterricht (Flipped Classroom).

Der Ansatz Community of Practice [LW91, We14] stellt die Weiterentwicklung des einzelnen Lernenden in den Vordergrund. Dabei wird die Bildung einer Arbeitsgemeinschaft von Lehrenden und Studierenden angestrebt, in der die gemeinsame Interaktion eine große Rolle spielt und die die Ziele verfolgt, gemeinsam zu lernen, Wissen weiterzuvermitteln sowie Aufgaben effizient zu bearbeiten.

Im Flipped- (oder Inverted-)Classroom-Modell werden Hausaufgaben und Unterrichtsstoffvermittlung ausgetauscht [Za09]. Die Präsenzzeiten dienen hierbei vor allem zur Bearbeitung von Aufgaben und bieten den Vorteil, dass die Studierenden durch die anwesenden Dozierenden unterstützt werden.

Bedingt durch den Bologna-Prozess bieten sich in der Entwicklung von Lehrveranstaltungen kompetenz- und lernzielorientierte Methoden [Cu15] an. Die Formulierung und Definition von Modulen verlangen die Darstellung von Lernzielen und den gewonnenen Kompetenzen nach erfolgreicher Absolvierung eines Moduls. Bei detaillierterer Betrachtung werden hierbei mehrere Lernziele mit verschiedenen Kompetenzen zusammenge-

bracht und deuten auf eine Herausforderung in der Realisierung des Lehralltags hin.

Mit forschendem Lernen [Fo17] bezeichnet man eine Lernmethode, bei der Forschende (hier: Studierende) sich selbständig eine Aufgabe oder eine Fragestellung suchen und versuchen, eine Lösung zu entwickeln. Dabei übernehmen die Forschenden alle notwendigen Tätigkeiten von Planung über Entwicklung bis hin zur Präsentation und Dokumentation der Ergebnisse.

Bei der Entwicklung der Lehreinheiten haben sich Konzepte der agilen Vorgehensweise in Projektarbeiten und des Deming-Rads [TCW04] als nützlich erwiesen, um auf die Dynamik und Komplexität des Lehrbetriebs reagieren zu können. Appelo hat in [Ap11] die Aktivitäten und Aufgaben sowie ihre Zusammenhänge im Management von (agilen Software-) Projekten beschrieben und dabei einen systemtheoretischen Ansatz verfolgt. Wesentliche Elemente, wie Motivation, Selbstorganisation, Kommunikation und Änderungsmanagement, lassen sich auf den Lehrbetrieb übertragen. Genauso kann das Deming-Rad oder der PDCA-Zirkel mit seinen vier Phasen (Plan-Do-Check-Act) zur Verbesserung des Lern-Prozesses eingesetzt werden.

3 Durchführung der Lehrveranstaltung

Zur Erfüllung der gesetzten Zielstellung (Umgang mit Heterogenität und den aus der beruflichen Praxis resultierenden Anforderungen) wird in der Lehrveranstaltung „Grundlagen der Programmierung“ des ersten Semesters des Informatikstudiengangs an der Westsächsischen Hochschule Zwickau ein Flipped Classroom etabliert. Hierbei machen sich die Studierenden bereits vor der Präsenzveranstaltung im Selbststudium mit dem Studienstoff vertraut. Die Präsenzveranstaltung dient dann vor allem dazu, die im Selbststudium betrachteten Konzepte praktisch anzuwenden und dabei Unterstützung und Feedback durch die Lehrenden zu erhalten.

Als Basis für das Selbststudium der Studierenden ist das Buch „Einführung in Java mit Greenfoot“ [Kö10] ausgewählt worden. Es beschreibt auf verständliche Weise und anhand praktischer Beispielprojekte die grundlegenden Konzepte der objektorientierten Programmierung in Java. Eine wichtige Ergänzung des Buches stellen die frei verfügbare Greenfoot-Entwicklungsumgebung und die im Quellcode verfügbaren Beispielprojekte des Buches dar. Den Studierenden stehen in jedem Kapitel zahlreiche Übungen für die Stoffvertiefung zur Verfügung.

Die Studierenden arbeiten jede Woche eines der ersten neun Kapitel des Greenfoot-Buches durch und laden dazu Fragen in den Kurs der Lehrveranstaltung in das eingesetzte E-Learning-Portal OPAL (bildungsportal.sachsen.de) hoch. Die folgenden Leitfragen sind den Studierenden an die Hand gegeben worden, um das Formulieren geeigneter Fragen zum aktuell Kapitel zu unterstützen:

- „Fragen Sie nach allem, was Ihnen unklar geblieben ist. Vielleicht auch nach allem,

bei dem Sie sich nicht sicher sind, ob Sie es richtig verstanden haben.

- Hinterfragen Sie auch immer, ob Ihnen klar ist, warum etwas so oder so gemacht wurde und warum es funktioniert. Wenn nicht, dann fragen Sie danach.
- Finden Sie sich in der folgenden Aussage wieder? "Ich verstehe zwar, was es tut, aber ich habe keine Ahnung, warum man so etwas überhaupt braucht!" Dann fragen Sie doch danach, warum es dieses Programmierkonzept gibt.“

Sollten die Studierenden zum aktuellen Kapitel keine Fragen haben, sind sie stattdessen aufgefordert, sich drei mögliche Prüfungsfragen zu diesem Kapitel auszudenken und diese an gleicher Stelle hochzuladen. So wird von allen Studierenden eine entsprechende Aktivität eingefordert.

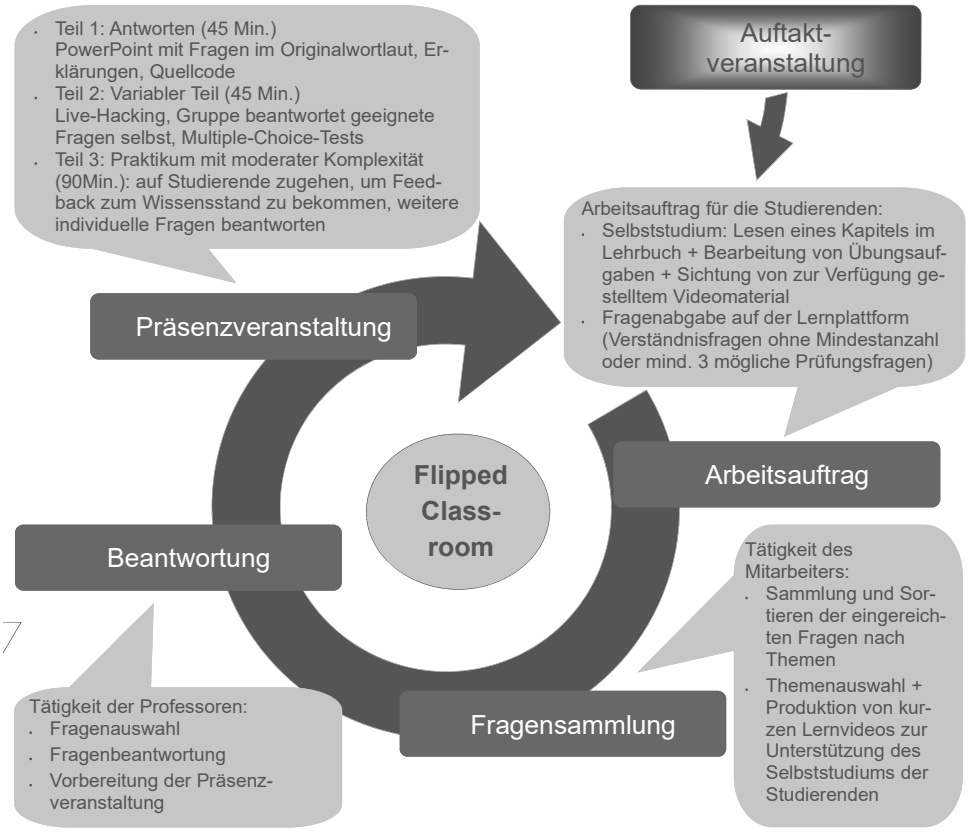


Abb. 1: Ablauf einer Lehrveranstaltungswoche im Modul Grundlagen der Programmierung

Durch die Nutzung von OPAL für die Fragenabgabe ist es möglich, die Teilnahme der einzelnen Studierenden zu überwachen und gleichzeitig zu erreichen, dass die Studierenden nicht einsehen können, welche Fragen die anderen Studierenden eingereicht haben. Damit lässt sich bei den Studierenden die Befürchtung zerstreuen, vielleicht von Kommilitonen für ihre Fragen ausgelacht zu werden.

Aus der Menge der eingereichten Fragen werden dann die relevantesten Fragen durch die Dozierenden ausgewählt und Antworten zu diesen Fragen für die Präsenzveranstaltung erstellt. Das Spektrum der Antworten reicht dabei von sehr kurzen und prägnanten Antworten auf Detailfragen bis hin zu umfangreicheren Erklärungen komplexerer Konzepte und deren Zusammenhänge. Zur Beantwortung der Fragen werden Präsentationsfolien sowie Quellcodebeispiele genutzt.

Der organisatorische Ablauf innerhalb einer Woche sieht dabei wie im Folgenden beschrieben aus. An einem Nachmittag pro Woche findet die Präsenzveranstaltung statt. Die Studierenden haben anschließend drei Tage Zeit, ihre Fragen einzureichen. Diese Zeit erscheint möglicherweise knapp, aber es steht den Studierenden jederzeit frei, bereits Kapitel im Voraus zu lesen und ihre Fragen einzureichen, was sicherlich bei einigen umfangreicheren Kapiteln auch dringend anzuraten ist. In der zweiten Semesterhälfte nach dem Durcharbeiten des Buches werden dann noch weitere Themen behandelt, die im Greenfoot-Buch nicht hinreichend betrachtet werden. Die entsprechenden Vorlesungsunterlagen werden ebenfalls für das Selbststudium über den OPAL-Kurs zur Verfügung gestellt. Zusätzlich entwickelten die Studierenden als Teil der Prüfungsvorleistung in Zwei-Personen-Teams ein eigenes kleines Spiel bzw. eine kleine Simulation mit Greenfoot. Die Aktivitäten jeder Vorlesungswoche sind in Abb. 1 zusammenfassend dargestellt. Jede Iteration oder – in agiler Betrachtungsweise – jeder Sprint umfasst eine Woche.

Zur Qualitätssicherung erfolgt eine wissenschaftliche Begleitung der Lehrveranstaltung, in dem in der Mitte des Semesters eine Lehrevaluation nach dem Verfahren „Teaching Analysis Poll“ (TAP), siehe [FFL11], zum Semesterende ein Feedbackgespräch mit den Studierenden und semesterbegleitend Tweedback-Umfragen stattfinden. Gerade die Tweedback-Umfragen haben sich als hilfreich herausgestellt, um Stärken und Schwächen zu hinterfragen sowie Probleme im Lernfortschritt aufzudecken. Dabei werden den Studierenden in der Präsenzveranstaltung Multiple-Choice-Fragen zur Lehrevaluation gestellt, die diese anonym über die Tweedback-Webseite beantworten können. Daraus ergeben sich eine praktisch hundertprozentige Fragenteilnahme der Anwesenden sowie häufig auch eine darauffolgende Diskussion, die weitere wichtige Hinweise für die Lehrenden liefert.

4 Das Durchführungskonzept als Netzwerk von Bausteinen

Der zugrunde gelegte Flipped Classroom erfordert eine agile Vorgehensweise. Die Lehrenden müssen sich den folgenden Herausforderungen stellen:

- permanenter Austausch mit den Studierenden, da Inhalte der Präsenzzeiten von den Studierenden mitbestimmt werden
- auf kurzfristige Änderungen aufgrund von Lernfortschritten oder -stillständen reagieren
- grundsätzlich mit unvorhersehbaren Situationen umgehen und geeignete Reaktion darauf
- mit eigenem Unwissen umgehen und sich somit kontinuierlich weiterbilden
- Studierende und sich selber motivieren.

Eine hohe Dynamik und Adaptivität ergibt sich zwangsläufig durch die jedes Jahr anderen Studierenden, die andere Fragen stellen und andere Verständnisprobleme haben. Manche Gruppen haben größere Probleme mit dem Verständnis und der korrekten Verwendung von Konstruktoren während andere Gruppen grundlegende Schwächen in der Verwendung und Unterscheidung von lokalen Variablen, Parametern und Attributen offenbaren – Änderungen sind somit programmiert.

Im DIADEM-Modell [GAG17] ist ein Netzwerk von (Lehr-)Bausteinen definiert worden, um die Agilität (Dynamik und Adaptivität) einer Lehrveranstaltung besser überschauen und beherrschen zu können. Die wichtigsten Zusammenhänge im DIADEM-Modell sollen kurz dargestellt werden.

Als *Baustein* wird ein Lehrbestandteil bezeichnet, der die folgenden Informationen zusammenfasst:

- Zweck – Wozu dient der Baustein?
- Aufgabe (Arbeitsauftrag) – Was muss in dem Baustein ausgeführt werden?
- Dynamisch/statisch – Bleibt der Baustein über einen längeren Zeitraum unverändert oder gibt es häufigere Änderungen?
- Medientypen – Womit bzw. wie kann der Baustein realisiert werden?
- Bearbeiter – Wer bearbeitet bzw. arbeitet mit diesem Baustein?
- Ersteller – Wer erstellt die Ressourcen?
- Kategorien – Zu welchen zu unterstützenden Einsatzgebieten gehört der Baustein?

Bausteine ergeben sich aus den übergeordneten Lernzielen der Lehrveranstaltung, die in der Modulbeschreibung festgelegt sind. Im praktischen Lehrbetrieb haben sich die Kategorien Motivation, Wissensvermittlung, Praktische Anwendung, Soft Skills (Teamfähigkeit, Kommunikationsfähigkeit, Fachsprachkompetenz, Eigenverantwortung, Kompromissfähigkeit, interkulturelle Kompetenz), Feedback, Werkzeuge (zur Orientierung wie

Ablaufplan, Werkzeuge zum Management der studentischen Lösungen oder Unterlagen) aus Sicht der Lehrenden als sehr hilfreich erwiesen, um jederzeit einen Überblick der angestrebten Ziele zu erlangen, siehe Abb. 2.

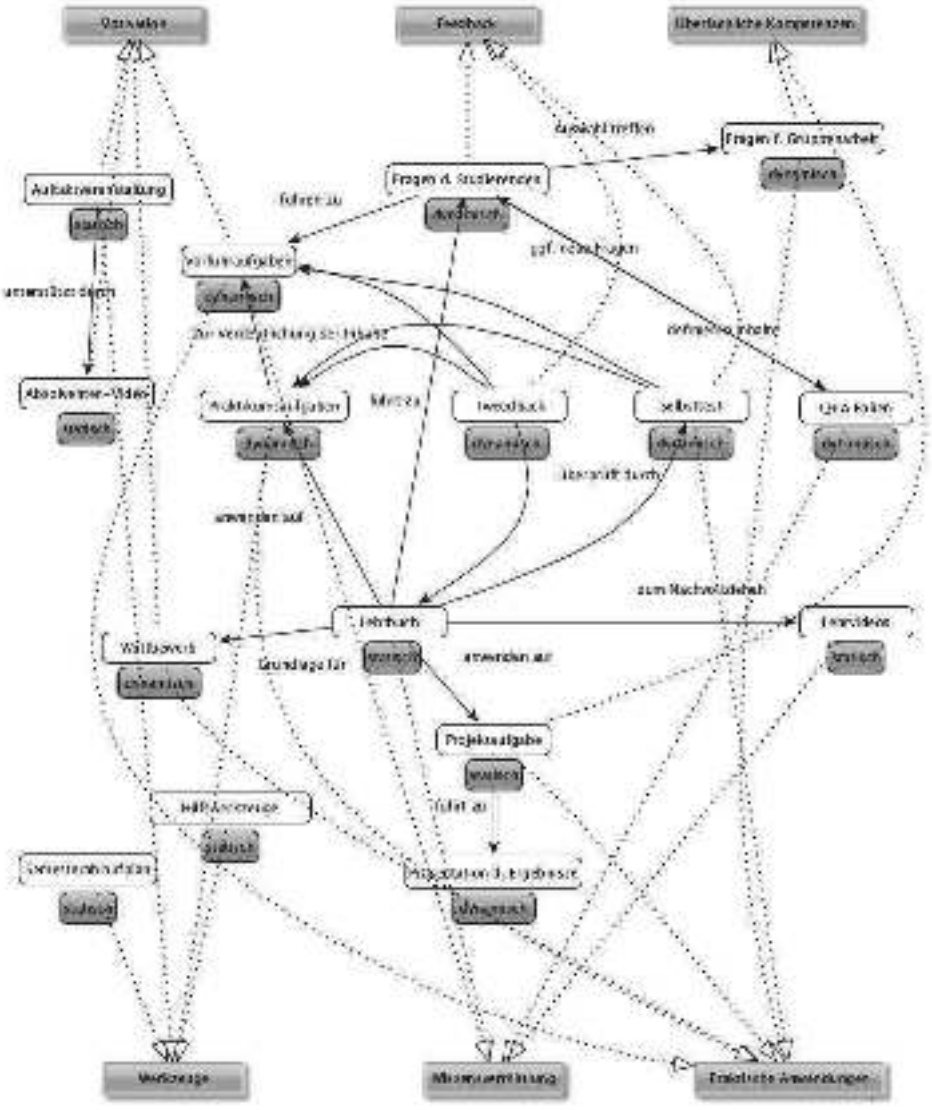


Abb. 2: Netzwerk von Bausteinen, Kategorien sind in grau dargestellt

Änderungen machen aber auch andere auf die Lerngruppe adaptierte Lerninhalte notwendig. Vorführaufgaben wie Life Hacking zu aufgetretenen Lernschwierigkeiten können beispielsweise kurzfristig helfen. Nicht alle Bausteine sind dieser Änderungsdynamik unterlegen. Daher können statische und dynamische Bausteine unterschieden werden. Das verwendete Greenfoot-Buch ist ein statischer Baustein, der unveränderter und fester Bestandteil des Lehrkonzepts ist. Q&A(Fragen und Antwort)-Folien müssen dagegen jedes Jahr neu entsprechend der eingereichten Fragen der Studierenden erstellt werden. Die Unterscheidung in statische und dynamische Bausteine hat den Vorteil, dass damit kurzfristig notwendige Reaktionsmöglichkeiten besser und schneller analysiert und zur Anwendung gebracht werden können und ein entsprechendes Bewusstsein für Flexibilität bei den Lehrenden verankert wird.

Durch die Abhängigkeiten zwischen den Kategorien entsteht ein Netzwerk. Dessen Kern ist die schon in Kapitel 3, Abb. 1 angesprochene Iteration (Sprint) *wöchentliches Lesen des Lehrbuchs – Fragen der Studierenden – Question+Answer-Folien*. Daraus ergeben sich Vorführaufgaben als Reaktion der Dozierenden auf beobachtete Lernschwierigkeiten und Praktikumsaufgaben zur Unterstützung und Evaluierung des Lernfortschrittes, wie in Kapitel 3 erläutert. Entfällt beispielsweise der Baustein *Fragen f. Gruppenarbeit*, wird durch die im DIADEM-Modell explizit definierten Abhängigkeiten nachvollziehbar, dass dies keine inhaltlichen Auswirkungen hat. Allerdings werden damit gruppendynamische Effekte nicht so intensiv unterstützt. In einer bestimmten Studierendengruppe kann diese Entscheidung vertretbar sein, in einer anderen sehr inhomogenen Gruppe mit Schwierigkeiten im Zusammenfinden ist ein mehrmaliger Einsatz dringend zu empfehlen. Mit dem Wegfall des Selbsttest-Bausteins würde ein Überprüfungselement fehlen. Dies hat jedoch Einfluss auf den Vorführaufgaben-Baustein, der nun nur auf Basis der Praktikumsaufgaben und ihrer zu beobachtenden Ergebnisse erstellt wird.

5 Ergebnisse und Ausblick

Flipped Classroom als Lehr- und Lernmethode erweitert um die Aspekte Dynamik und Adaptivität hat sich im praktischen Einsatz als Durchführungskonzept bewährt. Der Einsatz des DIADEM-Modells und die Darstellung als Netzwerk von Bausteinen erleichtern die Auswirkungsanalyse und Beherrschung der Komplexität der Programmierungsausbildung. Die zugeordneten Kategorien ermöglichen einen Überblick zur Zielerreichung der gewünschten fachlichen und überfachlichen Kompetenzen sowie der Lernziele. Mögliche Reaktionen auf den aktuell beobachteten Lernstand können somit gut diskutiert und analysiert werden. Das vorgestellte Durchführungskonzept ist mittlerweile auf drei weitere Module erfolgreich übertragen worden.

Durch die Vorarbeit anhand der Lehrbuchquelle mit integrierten Übungsaufgaben kann jeder Studierende so viel Zeit einsetzen, wie er aufgrund seiner bereits vorhandenen Kenntnisse zum jeweiligen Thema benötigt. Auch der internationalen Zusammensetzung der Studierendengruppe wird dadurch Rechnung getragen. Ebenso war einem gehörlosen

Studierenden die Teilnahme an allen Aspekten der Lehrveranstaltung unter Einsatz von Gebärdensprachdolmetschern möglich.

Durch die Konzentration auf die tatsächlich von Studierenden gestellten Fragen, wird die Lehre konsequent an den wirklichen Bedürfnissen der Studierenden orientiert.

Dies ist auch durch dynamische Anpassungen im Semester erreicht worden, die sich zum einen durch reflektierende Besprechungen der beteiligten Lehrenden als auch durch fortlaufend eingeholtes Feedback des Hochschuldidaktikers der Westsächsischen Hochschule Zwickau (WHZ) im Sinne einer agilen Qualitätssicherung bis hin zur Evaluierung der Veranstaltungen in der Mitte des Semesters nach der TAP-Methode ergeben haben. So ist im Laufe des Semesters auf Wunsch der Studierenden das Live-Hacking ergänzt und der Umgang mit den Fragen angepasst worden. Zu Beginn haben die Lehrenden versucht, fast alle Fragen zu beantworten. Später sind Fragen-Cluster gebildet und den Studierenden die Möglichkeit gegeben worden, offen gebliebene Fragen mit den Lehrenden in der Praktikumszeit zu diskutieren. Auch die Zeit zur Beantwortung der Fragen innerhalb der Lehrveranstaltung ist bewusst reduziert worden, um die Studierenden durch die Vielzahl der behandelten Themen nicht zu überfordern.

Die Dozierenden haben zunächst einen höheren Aufwand für die Lehrveranstaltung investieren müssen als dies bei einem klassischen Ansatz zu verzeichnen gewesen wäre. Bereits bei der zweiten Durchführung ist eine Normalisierung erfolgt. Der Aufwand zum Sammeln und Beantworten der Fragen wird mit wiederholter Durchführung geringer, da sich Fragen zunehmend in der Grundaussage wiederholen. Der Aufbau einer FAQ könnte zur erneuten Reduzierung des Zeitaufwandes beitragen. Semesterübergreifend ist eine erhöhte Selbstständigkeit und Studienkompetenz dieser Studierendengruppe beobachtet worden, die sich in der verringerten Betreuungsintensität in nachfolgenden Veranstaltungen niederschlägt.

Ausblickend kann gesagt werden, dass das vorgestellte Durchführungskonzept ergänzt werden kann. Zusätzliche Kategorien können helfen, um z. B. die Bearbeitungs- und Erstellungszeit abschätzen zu können. Damit ist die Arbeitslast der Dozierenden und die Workload-Belastung der Studierenden besser einschätzbar und steuerbar – wozu auch die Integration von Prüfungsleistungen, Prüfungsvorleistungen und Testaten beiträgt.

Literaturverzeichnis

[Ap11] Appelo, J.: Management 3.0: Leading agile developers, developing agile Leaders, Addison-Wesley, 2011.

[Ba15] Bargel, T.: Studieneingangsphase und heterogene Studentenschaft - neue Angebote und ihr Nutzen, https://www.bmbf.de/files/Eingangsphase_Gesamtdatei_Oktober2015.pdf, 2015.

[Cu15] Cursio, M.: Formulierung kompetenzorientierter Lernzeile auf Modulebene, https://www.nat.fau.de/files/2015/12/03-Leitfaden-Leitfaden-zur-Formulierung-

kompetenzorientierter-Lernziele-auf-Modulebene-NatFak-und-FBZHL.pdf

[Fo17] Forschendes Lernen (2017): URL: http://www.forschendes-lernen.net/index.php/was-ist- forschendes-lernen.html

[FFL11] Frank, A.; Fröhlich, M.; Lahm, S.: Zwischenauswertung im Semester: Lehrveranstaltungen gemeinsam verändern. In: Zeitschrift für Hochschulentwicklung (ZFHE) Jg. 6/Nr. 3, S. 310 – 318, 2011.

[GAG7] Golubski, W.; Arnold, O; Grimm, F: Das DIADEM-Modell – Ein Netzwerk didaktischer Bausteine auf Basis digitaler Medien. In: Bildungsräume, 25. Jahrestagung der Gesellschaft für Medien in der Wissenschaft e.V., „Medien in der Wissenschaft“ des Waxmann-Verlages, 2017.

[HZG15] Hanft, A.; Zawacki-Richter, O.; Gierke, W. (Hrsg.): Herausforderung Heterogenität beim Übergang in die Hochschule, https://www.uni-oldenburg.de/fileadmin/user_upload/anrechnungsprojekte/Hanft_Zawacki-Richter_Gierke_Open_Access.pdf, 2015.

[Kö10] Kölling, M.: Einführung in Java mit Greenfoot - Spielerische Programmierung mit Java. Pearson, München, 2010.

[LW91] Lave, J.; Wenger, E.: Situated Learning: Legitimate Peripheral Participation. Cambridge: Cambridge University Press, 1994.

[TCW04] Taguchi, G.; Chowdhury, S.; Wu, Y.; Taguchi's Quality Engineering Handbook; Wiley, Hoboken (NJ), 2004.

[SL11] Sedelmaier, Y; Landes, D.: SWEBOS - The Software Engineering Body of Skills. In: International Journal of Engineering Pedagogy (iJEP) 5 (1), S. 12-19, 2015.

[We14] Wegner, E.: Hochschulen als Communities of Practice – theoretische Perspektiven und praktische Umsetzung. In: Berendt, B.; Voss, P. & Wildt, J. (Hrsg.) Neues Handbuch Hochschullehre, J 3.1., 64. Ergänzungslieferung. Berlin: Raabe, 2014.

[Za09] Zappe, S; Leicht, R.; Messner, J.; Litzinger, T.; Lee, H.W: “Flipping” the classroom to explore active learning in a large undergraduate course. In Proceedings, American Society for Engineering Education Annual Conference & Exhibition, 2009. Washington DC: American Society for Engineering Education, 2009.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 295

Fitts' Gesetz als programmtechnische und empirische Aufgabe für Studierende der Informatik

Alexander Kröner[1] und Timo Götzelmann[2]

Abstract. Fitts' Gesetz ist Gegenstand vieler Lehrveranstaltungen in der Informatik. Neben der ursprünglichen Quelle existieren mehrere Formeln für verfeinerte Approximationen des Phänomens. Dieses Paper beschreibt einen Ansatz zum Einsatz dieses Themenkomplexes für Lehrzwecke für Studierende des 3. Regelstudiensemesters. Zunächst setzen Studierende den Sachverhalt als Programmieraufgabe mit mehreren zu testenden Variablen um. Im Weiteren führen sie selbst mit einer Benutzerstudie eine Verifikation durch welche im Folgenden ausgewertet wird. Bei der gemeinsamen Diskussion werden die Ergebnisse durch verschiedene Formeln sowie empirische Grundlagen wie die Ausreiserproblematik erörtert. Durch dieses Lehrkonzept, welches über mehrere Jahrgänge verfeinert wurde, werden mehrere Themen der Mensch-Computer-Interaktion mit praktischen Tätigkeiten für die Studierenden verknüpft. Ziel dessen war, Studierende in die softwaretechnische Umsetzung, die Durchführung und Auswertung der Studie zu involvieren und ihnen damit eine ganzheitliche Sicht auf die Zusammenhänge unterschiedlicher Sachverhalte aus dem Bereich der Mensch-Computer-Interaktion zu geben.

Keywords: Fitts' Gesetz, Programmierung, Benutzerstudie, Evaluation, Korrelation

1 Einleitung

Fitts' Gesetz bezeichnet eine von Paul Fitts empirisch ermittelte Gesetzmäßigkeit, die beispielsweise im Bereich der Informatik angewendet wird, um den Schwierigkeitsgrad einer Zeigeaufgabe in Abhängigkeit von Größe und Distanz des Ziels abzuschätzen [Fi54]. Fitts' Gesetz ist Thema zahlreicher Forschungsarbeiten und wird immer wieder auf neue Interaktionsformen übertragen (z.B. spezielle für Touchscreens [SS91]). Die zahlreichen Variablen in den derzeit anerkannten Ausprägungen des Gesetzes und den damit verbunden Arten von Zeigeaufgaben machen aus Sicht der Forschung eine Validierung der empirisch gewonnenen Ergebnisse interessant.

Die in Arbeiten zu Fitts' Gesetz gewonnenen Erkenntnisse sind aber auch von grundlegendem Interesse für Lehre im Bereich der Mensch-Maschine-Interaktion. Ein Beispiel bildet das Fach „Interaktive Systeme" der Fakultät Informatik der Technischen Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm. Im dritten Regelstudiensemester werden theoretische Grundlagen interaktiver Systeme behandelt und in Laborpraktika auf

[1] Technische Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm, Fakultät Informatik, Keßlerplatz 12, 90489 Nürnberg, Alexander.Kroener@th-nuernberg.de
[2] Technische Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm, Fakultät Informatik, Keßlerplatz 12, 90489 Nürnberg, Timo.Goetzelmann@th-nuernberg.de

doi:10.18420/in2017_23

konkrete Aufgabenstellungen angewendet (vgl. [In17]). Programmtechnische Grundlage der praktischen Arbeiten bildet Microsoft Windows Presentation Foundation (WPF). Fitts' Gesetz als Baustein dieses Fachs soll im Sinne der kompetenzorientierten Lehre von Studenten verstanden, angewendet und ggf. auch auf neue Situationen übertragen werden können.

Die Einbindung von Fitts' Gesetz in die Lehrveranstaltung eröffnet die Möglichkeit, Studierende an Aspekte wissenschaftlichen Arbeitens heranzuführen und zugleich programmtechnische Kenntnisse zu vertiefen. Im Vordergrund des hier behandelten Falls standen dabei die folgenden Lernziele:

1. Vertiefung des vermittelten Wissens zur Implementierung von Dialogen
2. Verständnis, welche Parameter die Schwierigkeit einer Zeigeaufgabe beeinflussen
3. Methodik zur Analyse empirischer Beobachtungen kennenlernen und anwenden
4. Kritisches Hinterfragen bestehender wissenschaftlicher Erkenntnisse

Um diese Ziele zu unterstützen wurde ein Lehrkonzept entwickelt, das Ideen des forschenden Lernens (vgl. [Bu70]) aufgreift. Im Vordergrund steht die „*Ausführung der Methoden bis zur Prüfung* […] *der Ergebnisse in selbstständiger Arbeit*" [HHS09]. Andere Aspekte forschenden Lernens – insbesondere die selbständige Wahl von Thema und Methode, sowie die Freiheit eines unbegrenzten Risikos – wurden zugunsten der Umsetzung modifiziert oder eingeschränkt.

Im folgenden Kapitel 2 werden die Anforderungen an die Umsetzung des Lehrkonzepts erläutert. Die in Kapitel 3 vorgestellte Umsetzung wurde in mehreren Iterationen immer weiter entwickelt. Das Kapitel geht auch auf später verworfene Ansätze ein und erläutert Aspekte, die sich mit Blick auf die Anforderungen als hinderlich erwiesen. Neben einer Zusammenfassung von Ansatz und Ergebnissen wird dann in Kapitel 4 die weitere Vorgehensweise erläutert.

2 Ausgangssituation

Fitts' Gesetz wird als Grundlage zur Mensch-Computer Interaktion in vielen Studiengängen gelehrt (z.B. [Gr96, Pl06]). Neben einer rein theoretischen Vermittlung des Sachverhaltes, können jedoch auch andere Elemente in die Lehre mit aufgenommen werden. In der Lehre lässt sich ein experimenteller Zugang zu Fitts' Gesetz auf unterschiedliche Weise realisieren. So können beispielsweise Zeigeaufgaben in ein Spiel eingebettet und die vom Benutzer benötigte Zeit aufzeichnet und aufbereitet werden (vgl. [Er17]). Praktische Experimente mit Fitts' Gesetz lassen sich zudem in elektronische Kurse mit Vor- und Nachbereitung einbetten (vgl. [Si12]).

Das vorliegende Lehrkonzept greift solche Ansätze auf und entwickelt sie dahingehend weiter, dass die Lernenden zum einen an der Entwicklung des Testprogrammes zum

Experiment beteiligt werden, und zum anderen die zur Analyse nötigen Schritte selbst durchführen müssen. Eine besondere Rahmenbedingung bildet dabei das Ziel, einen zur Analyse geeigneten Korpus im Rahmen der Lehrveranstaltung zu erzeugen. Den Autoren ist kein Ansatz bekannt, welcher Fitts' Gesetz derart in der Lehre einbindet.

Die Umsetzung des Lehrkonzepts sollte verschiedenen Anforderungen folgen, die in erster Linie durch die Rahmenbedingungen der Hochschullehre motiviert sind.

2.1 Organisatorische Anforderungen

R-Planbarkeit: Das Experiment soll auf regelmäßiger Basis wiederholt werden können, um den initialen Aufwand der Erstellung der Lehrmaterialien zu rechtfertigen. Damit verbunden ist die Anforderung eines straffen und kontrollierbaren Ablaufs der einzelnen Schritte des Lehrkonzepts, um die zeitlichen Auswirkungen auf die Lehrveranstaltung vorhersagbar und beherrschbar zu machen.

R-Kosten: Die Arbeiten sollen mit vorhandener Ausstattung der Fakultät und ohne Einbindung zusätzlichen Personals durchgeführt werden können. In direkter Konsequenz sollen zudem aufwändige Hardware- oder Software-Installationen vermieden werden.

R-Umfang: Die Umsetzung des Lehrkonzepts innerhalb einer Lehrveranstaltung soll deren Fortgang nicht übermäßig beeinträchtigen.

2.2 Teilnehmerbedingte Anforderungen

R-Vergleichbarkeit: Die Teilnehmer beherrschen nach dem den Studiengängen zugrundeliegenden Curriculum die Grundlagen der Programmierung in C#. Der individuelle Kenntnisstand kann aber stark abweichen. Dies betrifft auch die Erfahrung der Studierenden mit den für die Umsetzung des Konzepts erforderlichen Werkzeugen zur Datenanalyse. Gründe können hier unter anderem in Vorwissen aus beruflicher Tätigkeit oder in Abweichungen zwischen den Studiengängen liegen. Im vorliegenden Fall wird beispielsweise nur im Studiengang Medieninformatik das Fach „Software-Ergonomie" gelesen, in dem Fitts' Gesetz ebenso Erwähnung findet. Im Fach „Interaktive Systeme" werden auf Basis eines gemeinsamen Skriptums beide Studiengänge getrennt von einem jeweils zugeordneten Dozenten betreut. Mit Blick auf diese Diversität müssen Maßnahmen ergriffen werden, die die Vergleichbarkeit der Vorgehensweise und der Ergebnisse verschiedener Studierender gewährleisten.

R-Motivation: Mit Blick auf den erhofften Lernerfolg sollen Studierende sich selbsttätig mit der Materie auseinandersetzen. Studierende sind allerdings nicht zwangsläufig intrinsisch motiviert, die im Rahmen des Konzepts geforderten Tätigkeiten voranzutreiben. Also muss der Wert einer aktiven Teilnahme in geeigneter Form deutlich gemacht werden.

2.3 Fachliche Anforderungen

R-Korpus: Eine geeignete Menge an Messungen soll durchgeführt werden können, um deren empirische Analyse zu ermöglichen.

3 Umsetzung

In diesem Abschnitt werden die aufeinander aufbauenden Abschnitte des Lehrkonzeptes eingeführt. Die Umsetzung wurde im Verlauf von drei Jahrgängen immer weiter entwickelt. Im Folgenden wird die Umsetzung im Wintersemester 2016/17 betrachtet unter Verweis auf Erfahrungen aus vorangegangenen Jahrgängen.

Die Lehrveranstaltung wurde von zwei Dozenten zweizügig gelesen (Informatik, Medieninformatik). Im Vorfeld der Aufgabenstellung wurden deren theoretische Grundlagen in einer Vorlesung eingeführt. Diese Einführung umfasste unter anderem Fitts' Experiment und die von ihm postulierte Formel zur Berechnung der Schwierigkeit einer Zeigeaufgabe, eine Modifikation der Formel nach MacKenzie [Ma92], sowie Erweiterungen zur Übertragung von Fitts' Erkenntnissen auf zweidimensionale Zeigeaufgaben [AZ03][MB92]. In der Vorlesung wurde auf die Prüfungsrelevanz des Themas hingewiesen (vgl. *R-Motivation*), u.a. in Verbindung mit Verständnisaufgaben in Form der Peer-Instruction-Methode [Ma96].

In den von den Dozenten betreuten Laborpraktika wurden die Studierenden in parallel arbeitende Gruppen eingeteilt (3 Gruppen Informatik, 2 Gruppen Medieninformatik). Diese Gruppen arbeiteten abgestimmt, aber nicht zeitgleich. Durchgeführt wurden die 90-minütigen Praktika in Rechnerlaboren der Fakultät (vgl. *R-Kosten*). Jeder Studierende verfügte über einen Arbeitsplatz bestehend aus einen Laborrechner (Desktop-PC), einer 2D-Maus und einem 22" Monitor. Software-Plattform bildete Microsoft Windows in Verbindung mit der IDE Visual Studio. Alle Teilnehmer einer Arbeitsgruppe arbeiteten parallel (vgl. *R-Umfang*). Störungen und Ablenkungen während der Phase der Aufzeichnung konnten somit nicht ausgeschlossen werden.

Das Lehrkonzept im Rahmen der Laborpraktika umfasst folgende Schritte:

1. Vermittlung der programmtechnischen und empirischen Aufgabenstellung.
2. Implementierung einer Software-Umgebung, in der zweidimensionale Zeigeaufgaben unter verschiedenen Parametern durchgeführt werden können.
3. Aufzeichnen einer Serie von Zeigeaufgaben mittels dieser Software.
4. Auswertung der empirischen Aufzeichnungen.
5. Diskussion der Ergebnisse.

Für die Durchführung dieser Schritte erwies sich der Umfang von zwei Laborpraktika als ausreichend und vertretbar (vgl. *R-Umfang*).

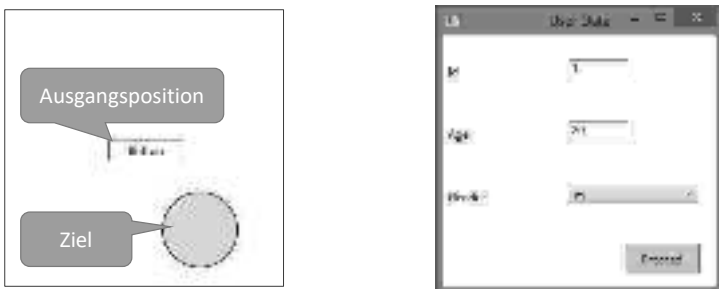


Abb. 1: Benutzerschnittstelle zur Durchführung zweidimensionaler Zeigeaufgaben (Grafik beschnitten und kommentiert, links) und einer der zu implementierenden Dialoge (rechts)

3.1 Erster Abschnitt: Programmtechnische Umsetzung

Im ersten Laborpraktikum hatten die Studierenden die Aufgabe ein Werkzeug zu realisieren, mit dem Fitts's Gesetz verifiziert werden sollte. Daneben sollte der Einfluss folgender Variablen auf die Schwierigkeit einer Zeigeaufgabe getestet werden:

- Mauszeigerbeschleunigung (Modifikation des Control-Display Gain [Mac95])
- Vorwissen bei einer Zeigeaufgabe (Precuing [HH13])
- Wechselnde Ruheposition der Hand

Als ersten Schritt führten die Dozenten ein Briefing der Studierenden durch. Damit verbunden war die Ausgabe von schriftlichen Instruktionen. Diese motivierten die Hintergründe der Aufgabe, und spezifizierten die programmtechnische Aufgabe.

Im Anschluss wurde als Grundlage der programmtechnischen Aufgabe ein in C# implementiertes Programmgerüst ausgegeben. Das Gerüst realisiert eine einfache Benutzerschnittstelle zur Durchführung von 2D-Zeigeaufgaben mit zufällig positionierten kreisförmigen Zielen mit variabler Größe (s. Abb. 1). Es misst die Zeit von einem Klick auf eine fest definierte Ausgangsposition bis hin zu einem Klick auf das Ziel. Falls Precuing nicht gewünscht ist, wird das nächste Ziel erst nach Klick auf die Ausgangsposition angezeigt. Eine wechselnde Ruheposition der Hand wird simuliert, in dem der Mauszeiger nach Klicken auf ein Ziel automatisch auf die Ausgangsposition gesetzt wird. Zusätzlich protokolliert die Konfiguration des Experiments und der eigentlichen Messwerte – unter anderem die für die Zeigeaufgabe benötigte Zeit, die Größe und Position des Ziels, sowie einen Fehlerindikator („Ziel verfehlt").

Die Studierenden wurden angewiesen, das Gerüst punktuell mit grafischen Dialogen zu erweitern; entsprechende Code-Stellen wurden gekennzeichnet. Das für diese Aufgabe erforderliche Code-Verstehen wurde auf in der Lehrveranstaltung behandelte Aspekte

der Dialogprogrammierung (z.B. Datenbindung, Modalität) reduziert. Studierende, die diese Aufgabe nicht bis zum Ende der Lehrveranstaltung fertigstellen konnten, sollten diese Aufgabe bis zum Anfang der folgenden Veranstaltung erledigen. Für die tatsächliche Durchführung der Messungen wurde jedoch eine Musterlösung bereitgestellt, welche von den Studierenden nur noch durch Festlegung mehrerer Variablen konfiguriert werden musste. Diese Musterlösung diente gleichzeitig zur Überprüfung des eigenen Lösungsweges.

Erfahrungen aus vergangenen Semestern

In der ersten Iteration wurde den Studierenden nur ein Grundgerüst des Werkzeugs zur Verifikation zur Verfügung gestellt. Innerhalb dieses Gerüsts sollten 3 bis 4 Studierende in Gruppenarbeit eine zufällig vom Dozenten zugewiesene Variante der Zeigeaufgabe realisieren (unter anderem eindimensionale oder zweidimensionale Aufgaben, kreisförmige oder ellipsoide Ziele).

Die daraus resultierende Vielfalt an Aufgabenstellungen mit variierender Komplexität erwies sich als ungünstig für die Größe des Korpus der jeweiligen Aufgabe (*R-Korpus*). Zudem führte sie zu sehr unterschiedlichen Umsetzungszeiten, sodass einige Studierendengruppen bereits vor Ende des ersten Abschnittes die programmtechnische Aufgabe beendet hatten, wogegen andere Gruppen noch am Anfang der Umsetzung standen. Somit mussten in der folgenden Veranstaltung diese Studierendengruppen ihre Umsetzung abschließen, während andere Gruppen bereits fertig waren (*R-Planbarkeit* beeinträchtigt). Positive Effekte im Sinne des Konzeptes *Peer-Assisted Learning* (z.B. [Top05]) wurden dem Anschein nach nur begrenzt erreicht. In Konsequenz wurde in der folgenden Iteration die Anzahl der Aufgabenstellungen drastisch reduziert.

Ein weiteres Problem bildeten die teilweise erheblichen Unterschiede in der Umsetzung einer Implementierungsaufgabe. Dies war zum einen trotz individueller Beratungen der einzelnen Gruppen durch die Dozenten auf eine unterschiedliche Interpretation der Aufgabenstellung, zum anderen auf mangelnde Programmierkenntnisse (Code verstehen, Code realisieren) zurückzuführen. Es führte dazu, dass teilweise keine funktionierende Lösung zur Durchführung der Messung bereitstand (*R-Planbarkeit* beeinträchtigt) und Messergebnisse vorhandener Lösungen sich stark voneinander unterschieden (*R-Vergleichbarkeit* beeinträchtigt). Also wurden Punkte zur Erweiterung des Programmgerüsts deutlich markiert und die Erweiterungen inhaltlich auf grafische Dialoge beschränkt. Weiterhin wurden die Studierenden angewiesen, unfertige Umsetzungen bis zum Start der folgenden Veranstaltung selbstständig in Projektarbeit umzusetzen. Diese Maßnahmen führten aber nur zu mäßigem Erfolg, d.h. nach wie vor hatten nicht alle Gruppen die Aufgabe bis zum Start der folgenden Veranstaltung fertiggestellt, sodass nicht gleichzeitig mit den Messungen begonnen werden konnte (*R-Planbarkeit* beeinträchtigt). Als Konsequenz wurde die Ausgabe einer Musterlösung beschlossen, um die Studierenden vor dem zweiten Abschnitt der Aufgabe alle zu einem vorhersagbaren Zeitpunkt in die gleiche technische Ausgangssituation zu versetzen.

3.2 Zweiter Abschnitt: Durchführung der empirischen Aufgabe

Im zweiten Abschnitt wurden die Studierenden zunächst in die für die Durchführung der Benutzerstudie relevanten Grundlagen zur Evaluation eingeführt (z.B. Beispiele für den Einfluss von Störvariablen). Anschließend erhielten alle Gruppen die Muster-Implementierung und Informationen zur deren Konfiguration. Es folgte ein Briefing bezüglich der Durchführung des Ablaufs der Messungen.

Zur Untersuchung des Einflusses der Mauszeigerbeschleunigung wurden die Studierenden in zwei Gruppen eingeteilt mit variierender Aufgabenstellung: Studierende im Studiengang Medieninformatik sollten die von Microsoft Windows realisierte Option „Zeigerbeschleunigung verbessern", welche den Umfang der aus der Bewegung der Maus resultierenden Bewegung des Mauszeigers manipuliert, deaktivieren. Studierende im Studiengang Informatik sollten die Option aktivieren mit den Default-Einstellungen.

Im Folgenden wurde jeder Studierende angewiesen, für jede der vier Konfigurationen (mit/ohne Wechsel der Ruheposition, mit/ohne Precuing) 20 Messungen durchzuführen (d.h. 4x 20 Zeigeaufgaben) und so die Grundlage der späteren Auswertung zu schaffen. Vor der eigentlichen Messung in einer Konfiguration sollte ein Training mit 20 Messungen durchgeführt werden, um den sich selbst messenden Studierenden an den jeweiligen Aufbau zu gewöhnen. Danach wurden die Aufzeichnungen des Experiments von den Dozenten eingesammelt und konsolidiert.

Ergebnis waren für jede der beiden Varianten des Experiments vier Messreihen mit allen Messungen der jeweiligen Konfiguration. Da die Gruppen nicht zeitgleich arbeiteten, war unter Umständen eine Unterbrechung der Bearbeitung erforderlich. Betroffene Gruppen wurden angewiesen, nach Abschluss der Messungen mit der praktischen Bearbeitung des folgenden Abschnitts der Vorlesung zu beginnen.

Nach Abschluss der Konsolidierung sollten die Studierenden die Messreihen ihres Studiengangs mithilfe einfacher Analysefunktionen des Standardprogrammes Microsoft Excel auswerten. Die Studierenden wurden in die Anwendung der linearen Regression eingewiesen und führten diese mit den erhobenen Datensätzen durch. Hierzu wurden die Formeln nach Fitts [Fi54], MacKenzie [Ma92], sowie Accot & Zhai [AZ03] herangezogen. Im Zuge der Analyse wurden die Studierenden mündlich und über ein Handout auf zu untersuchende Fragestellungen hingewiesen. Schließlich wurden die von den Studierenden getätigten Beobachtungen und ermittelten Zusammenhänge diskutiert.

Erfahrungen aus vergangenen Semestern

In den vorigen Iterationen traten durch die Uneinheitlichkeit der Lösungen seitens der Studierenden verschiedene Schwierigkeiten bei der Auswertung auf. Teilweise wurden Messungen teilweise mittels privater Rechner außerhalb des Labors mit einer Vielfalt an Zeigegeräten durchgeführt, z.B. Touchpads. Zudem konnte die Einhaltung des Ablaufs (insbesondere Ablauf und Umfang des Trainings vor der eigentlichen Messung) nicht sichergestellt werden. Den übermittelten Messwerten waren diese Aspekte aber nicht zu

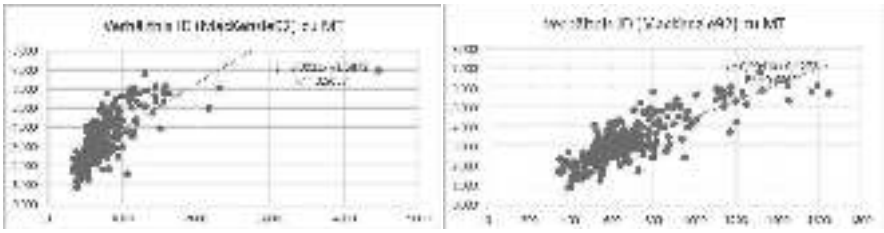


Abb. 2: Beispielhafte Visualisierung der Schwierigkeit (ID) gegenüber der Problemlösungsdauer (MT) nach Fitts' Formel (Erweiterung von MacKenzie); links die Visualisierungen mit Ausreißern durch fehlerhafte Messungen, rechts ohne diese

entnehmen, so dass die Vergleichbarkeit der Werte im Gesamtkorpus nicht gewährleistet war und somit die Aussagekraft der in der Auswertung ermittelten Ergebnisse potentiell beeinträchtigt wurde (vgl. *R-Vergleichbarkeit*). Als Konsequenz wurde die Kontrolle des Ablaufs der Messungen in späteren Iterationen deutlich verstärkt.

Einigen Gruppen wurde aufgrund unzureichender Softwaretests erst nach der Durchführung bewusst, dass das Format der protokollierten Messergebnisse von dem zu erzeugenden Zielformat abwich. Teilweise mussten damit umfangreichere Datenkonvertierungen ausgeführt werden, in Einzelfällen musste die Datenerhebung erneut durchgeführt werden. Zusammengenommen führten diese Verzögerungen dazu, dass ein weiteres Laborpraktikum benötigt wurde (in Konflikt mit *R-Umfang*). Auch diese Problematik wurde später durch die ausgegebene Musterlösung adressiert.

3.3 Ergebnisse

An dem Experiment nahmen 21 Informatik-Studierende und 16 Medieninformatik-Studierende teil. Insgesamt standen also 2960 Datensätze zur Auswertung zur Verfügung, welche nach Microsoft Excel zu importieren waren und per Punktdiagramm visualisiert wurden.

Zunächst sollten die Studierenden die Daten bereinigen. Schriftliche Instruktionen luden sie dazu ein, nach Indizien und Ursachen von Ausreißern zu suchen und deren Auswirkung auf den Grad der Annäherung zu prüfen. Dies diente als Basis einer Diskussion, was legitime bzw. nicht legitime Argumentationen zur Eliminierung von Ausreißern sind. Aufgrund der Diskussion mit den Studierenden wurde beschlossen, sämtliche Datensätze zu eliminieren, bei denen ein Fehler protokolliert wurde. Dies führte zu einer deutlichen Verbesserung des Bestimmtheitsmaßes R^2 (s. Abb. 2) und konnte den Studierenden damit als eindrückliches Beispiel dienen.

Danach wurden die Studierenden aufgefordert, die Werte von R^2 in Abhängigkeit von Konfiguration und Formel zu vergleichen. Die Formeln von MacKenzie und Accot & Zhai erreichten eine ähnliche Annäherung und übertrafen Fitts (vgl. Tab. 1). Mit den

Studierenden wurden diese Beobachtungen vor dem Hintergrund des für die Messungen verwendeten Aufbaus diskutiert (z.B. Dimensionalität, kreisförmige Ziele, Maus als Zeigegerät).

Mauszeiger-Beschl.	Veränderliche Ruheposition	Precuing	R^2 Fitts	R^2 MacKenzie	R^2 Accot	MT □
			0,626	0,681	0,690	726,322
		X	0,456	0,478	0,481	542,728
	X		0,447	0,525	0,532	797,306
	X	X	0,491	0,534	0,539	672,925
X			0,553	0,579	0,579	729,798
X		X	0,455	0,466	0,465	556,569
X	X		0,346	0,352	0,352	820,145
X	X	X	0,481	0,502	0,501	648,819

Tab. 1: Zusammenfassung des für die verschiedenen Konfigurationen ermittelten Bestimmtheitsmaßes R^2 sowie der durchschnittlich gemessenen Zeiten (MT Ø)

Zudem konnten die Studierenden den durchschnittlich gemessenen Zeiten Hinweise zum Einfluss der initial genannten Variablen auf die Schwierigkeit einer Zeigeaufgabe entnehmen, was als Stimulus für eine vertiefende Diskussion mit den Dozenten diente.

- Mauszeigerbeschleunigung: Die durchschnittlich gemessenen Zeiten vergleichbarer Konfigurationen mit und ohne Mauszeigerbeschleunigung weichen nur gering von einander ab.
- Vorwissen bei einer Zeigeaufgabe: Die durchschnittlich gemessenen Zeiten waren unabhängig von der Konfiguration kleiner als einer vergleichbaren Aufgabe ohne Vorwissen – was eine Vereinfachung der Zeigeaufgabe andeutet.
- Wechselnde Ruheposition der Hand: Die durchschnittlich gemessenen Zeiten waren unabhängig von der Konfiguration größer als einer vergleichbaren Aufgabe ohne Vorwissen – was eine Erschwerung der Zeigeaufgabe andeutet.

3.4 Grenzen der Aussagekraft

Die im Rahmen der Laborpraktika getroffenen Beobachtungen sind in ihrer Aussagekraft begrenzt. Mögliche Auswirkungen des vorgestellten Lehrkonzepts auf den Lernerfolg der Studierenden wurden bislang nicht explizit überprüft. Bezüglich der Beobachtungen zu Fitts' Gesetz ist zu beachten, dass die Durchführung der Messungen auch in der letzten Iteration in einer nur eingeschränkt kontrollierten Umgebung durchgeführt wurde, die zudem in verschiedenen Parametern von Fitts' ursprünglich verwendetem Aufbau abweicht. Die Signifikanz der Beobachtungen wurde dementsprechend bislang nicht weiter überprüft.

4 Schlussbemerkungen

Die Untersuchung von Fitts' Gesetz auf Basis des in diesem Artikel vorgestellten Lehrkonzepts ermöglicht die Verbindung praktischer, programmtechnischer Aufgabenstellungen mit der Anwendung empirischer Methoden. Ziel ist die Vermittlung einer ganzheitlichen Sicht auf ein Thema der Mensch-Computer-Interaktion, die für Studierende verschiedene Aspekte eines Softwareentwicklungsprozesses erlebbar macht.

Der über mehrere Iterationen immer weiter entwickelte Ansatz orientiert sich an Rahmenbedingungen der Hochschullehre. Neben organisatorischen Anforderungen (u.a. Planbarkeit, Anteil an der Lehrveranstaltung) erwies sich insbesondere die Beteiligung Studierender am Aufbau eines Korpus aus empirischen Messungen als fordernd, der sich in Umfang und Qualität für darauf aufbauende Analyseaufgaben eignet.

Die derzeit im Einsatz befindliche Variante erwies sich aus Sicht der betreuenden Hochschullehrer als praktikabel aus organisatorischer Sicht. Als günstig aus Sicht der heterogenen Programmierkenntnisse der Studierenden erwiesen sich dabei beispielsweise eine sehr starke Fokussierung der programmtechnischen Aufgaben, sowie im Sinne der Planbarkeit die Ausgabe einer Musterlösung.

Nächste Schritte umfassen unter anderem die empirische Überprüfung des Lernerfolgs seitens der Studierenden im Vergleich zu herkömmlichen Methoden – insbesondere der zuvor praktizierten Verbindung von Vorlesung und Laborpraktika. Kann auch hier ein positiver Effekt nachgewiesen werden, ist geplant das Konzept auf weitere Lehrinhalte der Mensch-Computer Interaktion (z.B., Hicksches Gesetz [Hi52], KLM/GOMS [CMN80]) zu übertragen.

Das Lehrkonzept selbst ist noch nicht abschließend entwickelt und bietet Raum für verschiedene Erweiterungen. Potential im Sinne des forschenden Lernens besteht beispielsweise in der stärkeren Einbindung der Studierenden in die Entwicklung von Hypothesen und entsprechenden Tests. Fordernd bleibt die Integration in die zugrundeliegende Lehrveranstaltung; Auswirkungen auf die Modulkonzeption werden derzeit geprüft.

Literaturverzeichnis

[AZ03] Accot, J., Zhai, S.: Refining Fitts' law models for bivariate pointing. In: Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems. ACM, S. 193–200, 2003.

[Bu70] Bundesassistentenkonferenz: Forschendes Lernen – Wissenschaftliches Prüfen. Schriften der Bundesassistentenkonferenz 5. Bonn.

[CMN80] Card, S.K., Moran, T.P., Newell, A.: The keystroke-level model for user performance time with interactive systems. Communications of the ACM. 23, S. 396–410, 1980.

[Er17] Erlandson, R.: Fitts' Law Game System for Teaching Accessible Design, http://webpages.eng.wayne.edu/etl/design/fittsgame.html, Stand: 23.06.2017.

[Fi54] Fitts, P.M.: The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement. Journal of experimental psychology 47(6), S. 381–391, 1954.

[Gr96] Greenberg, S.: Teaching human computer interaction to programmers. Interactions. 3, S. 62–76, 1996.

[Hi52] Hick, W.E.: On the rate of gain of information. Quarterly Journal of Experimental Psychology. 4, S. 11–26, 1952.

[HHS09] Huber, L., Hellmer, J., Schneider, F. (Hg.): Forschendes Lernen im Studium. Bielefeld: Universitätsverlag Webler, 2009.

[In17] Interaktive Systeme Fakultät Informatik, Technische Hochschule Nürnberg, https://fwpf.in-tra.th-nuernberg.de/fwpf/Modul_Fach.asp?TMod_ID=703, Stand: 25.04.2017.

[HH13] Hertzum, M., Hornbaek, K.: The effect of target precuing on pointing with mouse and touchpad. International Journal of Human-Computer Interaction. 29, S. 338–350, 2013.

[Ma92] MacKenzie, I.S.: Fitts' Law as a Research and Design Tool in Human-Computer Interaction. Human–Computer Interaction. 7, S. 91–139, 1992.

[Ma95] MacKenzie, I.S.: Input devices and interaction techniques for advanced computing. Virtual environments and advanced interface design, S. 437–470, 1995.

[Ma96] Mazur, E.: Peer Instruction: A User's Manual. Pearson, 1996.

[MB92] MacKenzie, I.S., Buxton, W.: Extending Fitts' law to two-dimensional tasks. In: Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems. ACM, S. 219–226, 1992.

[Pl06] Plimmer, B.: A computer science HCI course. In: People and Computers XIX—The Bigger Picture. Springer, S. 185–199, 2006.

[SS91] Sears, A., Shneiderman, B.: High precision touchscreens: design strategies and comparisons with a mouse. International Journal of Man-Machine Studies 34, S. 593–613, 1991.

[Si12] Simons, G.J.: Teaching and Visualizing Fitts' Law, 2012. Online: https://www.semanticscholar.org/paper/Teaching-and-Visualizing-Fitts-Law-Simons-Snodgrass/c122f360c244609500bbb2703be661cc04c0759b, Stand: 23.06.2017.

[Top05] Topping, K.J.: Trends in peer learning. Educational psychology 25, S. 631–645, 2005.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 307

Vergleich von Papierklausuren und elektronischen Prüfungen

Diskussion der Vor- und Nachteile von elektronischen Prüfungen am Beispiel von Programmierklausuren

Bastian Küppers[1] Ulrik Schroeder[2]

Abstract: Papierklausuren und elektronische Prüfungen unterscheiden sich in wesentlichen Aspekten, welche sowohl Formalitäten als auch Modalitäten der Prüfungen betreffen. Dieser Artikel stellt den Lebenszyklus einer Papierklausur dar und arbeitet heraus, dass auch bei einer Papierklausur bereits digitale Bestandteile im Lebenszyklus vorhanden sind. Darauf aufbauend werden Vor- und Nachteile von elektronischen Prüfungen diskutiert. Besonderes Augenmerk wird dabei auf die Sicherheit von elekronischen Prüfungen, sowohl im Allgemeinen als auch in Abgrenzung zur Papierklausur, gelegt. Als roter Faden werden im Verlaufe des Papers immer wieder Bezüge zu Klausuren in Programmierveranstaltungen hergestellt.

Keywords: Papierklausuren; E-Assessment; elektronische Prüfungen; Programmierklausuren

1 Einleitung

Hochschullehre ist heutzutage zunehmend digitalisiert [Ho16]. Dieser Trend erstreckt sich von der Verwendung von Notebooks und Tablets in Übungen bis hin zum Einsatz von Learning Management Systemen oder Apps in den Vorlesungen [PSD16]. Auch neben dem eigentlichen Studium sind Prozesse zur Selbstverwaltung der Studierenden zunehmend digital [PD14]. Nicht in gleichem Maße Teil der Digitalisierung sind jedoch Prüfungen, obwohl E-Assessment bereits erfolgreich für Selbsttests und formative Prüfungen eingesetzt wird [Ho16]. Ganz speziell im Bereich der Informatik birgt die Einführung von e-Assessment allerdings das Potenzial zum Studium gehörende Prüfungen zu verbessern. Der Hauptgrund hierfür ist sicherlich, dass das Werkzeug zur Durchführung von e-Assessment, nämlich der Computer, auch der Gegenstand des Studiums selbst ist. Im Folgenden wird zunächst der Stand der Forschung kurz beleuchtet. Anschließ]end werden Programmierklausuren, stellvertretend für Prüfungen im Informatikstudium, auf ihr Verbesserungspotenzial durch die Verwendung von e-Assessment untersucht. Dabei werden sowohl technische, als auch nicht-technische Aspekte beleuchtet und analysiert.

[1] RWTH Aachen University, IT Center, Seffenter Weg 23, 52074 Aachen, Deutschland kueppers@itc.rwth-aachen.de
[2] RWTH Aachen University, Learning Technologies Research Group, Ahornstraße 55, 52074 Aachen, Deutschland schroeder@informatik.rwth-aachen.de

doi:10.18420/in2017_24

2 Stand der Forschung

Es gibt bereits eine Vielzahl an Werkzeugen, die eine elektronische Abfrage von Wissen bzw. Fachkompetenz ermöglichen. Dies sind im einfachsten Fall Learning Management Systeme (LMS), wie z.B. Moodle[3] oder ILIAS[4]. Diese stellen eine Vielzahl von Fragetypen bereits. "[Diese] reichen von [...] Multiple-Choice-Fragen über Zuordnungsfragen und zufällige Kurzantworten bis hin zu drag & drop, Lückentexten und Freitext" [Mi15].

Für die Überprüfung von Programmierfertigkeiten existieren ebenfalls einige, web-basierte Werkzeuge, wie z.B. JACK [SBG09], DUESIE [HQW08] oder Praktomat [KSZ02]. Ala-Mutka diskutiert in [AM05] die Eigenschaften solcher Werkzeuge und Keuning et. al. vergleichen viele der existierenden Systeme in [KJH16]. Da es sich bei den existierenden Werkzeugen um web-basierte Anwedungen handelt, sind diese nicht per-se für die Verwendung in Klausuren geeignet. Eine entsprechende Absicherung der Computer muss zusätzlich vorhanden sein, um Betrugsversuche während einer Klausur zu unterbinden. Wie diese Absicherung aussehen muss, hängt von den konkreten Rahmenbedingungen ab, in denen eine Klausur durchgeführt wird (siehe dazu auch Abschnitt 6).

3 Bestandteile einer Prüfung

Zu einer Prüfung gehören, vom Beginn der Erstellung bis zur Einsicht der Korrektur durch Studierende viele Bestandteile bzw. Prozessschritte. Diese werden im Folgenden kurz erläutert.

Erstellung Zunächst müssen Aufgaben gemäß der zu prüfenden Kompetenzen entwickelt und klausurgerecht formuliert und dokumentiert werden. Dieser Schritt ist in den meisten Fällen bereits digitalisiert, indem Textverarbeitung, Grafikeditoren und sicher auch Werkzeuge der jeweiligen Domäne, z.B. Programmierumgebungen oder UML-Editoren verwendet werden. Ferner wird häufig auch eine Tabellenkalkulation zur Verteilung der Punkte auf Aufgaben zum Einsatz kommen und häufig wird ein Rückgriff auf Aufgaben der Vorjahre erfolgen, die variiert und angepasst werden. Die einzelnen Aufgaben müssen dann zusammengefügt, papiergerecht formatiert und zu einer druckfähigen Version einer Klausur inklusive Deckblatt und ggf. Anhängen zusammengestellt werden.

Für die **Durchführung** der Klausur wird sie (ggf. in Varianten) gedruckt, damit die Studierenden sie bearbeiten können. Das Bearbeitungsmedium bestimmt damit auch die Art der möglichen Aufgaben. Da Papier kein interaktives bzw. adaptives Medium ist, können keine multimedialen Darstellungen, z.B. Animationen genutzt werden. In derselben Weise sind die Studierenden bei der Bearbeitung der Klausur eingeschränkt, da ihnen nur ein

[3] http://moodle.org/
[4] https://www.ilias.de

Stift und Lineal zur Verfügung stehen. Gerade im Bereich der Programmierung kann mit diesen Hilfsmitteln ein ”natürlicher” Ablauf der Lösung von Programmieraufgaben nicht in gewohnter Weise durchgeführt werden. Das bedeutet, dass die in der Übung trainierte Situation keinen direkten Bezug zur Bearbeitung der Klausur hat. Dennoch sind auch in der Programmierung unterschiedlichste Aufgabenformate denkbar, wie z.B. Multiple Choice, Lückentext oder Freitext als “herkömmliche“ Aufgabenformate. Darüber hinaus sind Aufgaben mit mehr Fachbezug denkbar, wie das Entwickeln kleiner Programme oder die detaillierte Beschreibung eines gegebenen Algorithmus, die keine digitalen Hilfsmittel erfordern. Zudem sind Stift und Papier nach wie vor die flexibelsten und schnellsten Darstellungsmittel und bieten gegenüber einem Tablet oder Rechnertastatur klare haptische Vorteile.

Für die **Korrektur** wird klassisch der Rotstift verwendet, um Fehler zu markieren und Punkte zu notieren. Speziell bei Programmieraufgaben ist es dabei oftmals sehr mühselig, die Funktionsweise eines Sourcecodes nachzuvollziehen. Daher kommt es nicht selten vor, dass Teile der Lösungen der Klausuraufgaben wieder digitalisiert werden, um sie in einer Programmierumgebung auf dem Computer zu testen. Oftmals stellt zudem die Handschrift der Studierenden ein Problem dar, sodass eine digitale Einreichung von Lösungen auch dem Zweck der besseren Lesbarkeit dient. Die Punkte, welche die Studierenden in ihren Klausuren erreicht haben, werden zudem in aller Regel digital in einer Tabellenkalkulation festgehalten, um korrekt aufzuaddieren und Klausuraushänge zu erstellen. Die Ergebnisse der Korrektur können dann elektronisch an Prüfungsämter übermittelt werden und z.B. in der Lernplattform als elektronischer Aushang bekannt gegeben werden.

Bei der **Einsicht** der Korrektur haben die Studierenden die Möglichkeit ihre Klausuren inklusive der eingefügten Markierungen, Kommentare und Punkte einzusehen und eventuell strittige Aspekte bei der Bewertung zu diskutieren. Bei einigen Klausuren werden daher in der Regel noch Bewertungen angepasst. Diese werden sowohl auf dem Klausurdokument selbst, als auch in den assoziierten digitalen Dokumenten (Listen für Aushänge, Übermittlung der Resultate etc.) festgehalten.

Archivierung Nach der Einsicht muss die Klausur datenschutzgerecht archiviert werden, um der allgemeinen Dokumentationspflicht Genüge zu tun.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass dem gesamten Lebenszyklus einer Klausur ein stetiger Wechsel zwischen *digital* und *analog* inhärent ist. Dieser stetige Medienbruch kann durch die Einführung von e-Assessment reduziert werden. Dies ist wünschenswert, da jeder Wechsel potenziell eine Fehlerquelle darstellt. Welche bzw. ob es noch weitere Vorteile gibt und wie diese aussehen, wird in den folgenden Absätzen beschrieben.

4 Vorteile durch e-Assessment

Die Verwendung von e-Assessment kann den Lebenszyklus einer Prüfung homogener gestalten und darüber hinaus weitere Vorteile nutzen, die in den folgenden Abschnitten erläutert werden.

4.1 Verwendung fachspezifischer Werkzeuge

In Veranstaltungen werden in Übungen und Praktika, welche ergänzend zur Vorlesung stattfinden, oftmals fachspezifische Werkzeuge vorgestellt. Im Fall einer Programmier-Veranstaltung sind dies Entwicklungsumgebungen (*engl. integrated development environment, IDE*), wie z.B. Eclipse (`http://www.eclipse.org`) oder Netbeans (`http://netbeans.org`). Diese Entwicklungsumgebungen verfügen in der Regel über einen Editor, der Quellcode zur besseren Lesbarkeit farblich hervorhebt, einen Compiler und einen Debugger. Für komplexere Projekte stehen außerdem oftmals Möglichkeiten zur Projektverwaltung und zum kollaborativen Arbeiten, z.B. mit git, zur Verfügung. Entwicklungsumgebungen werden nicht nur im universitären Umfeld zu Lehrzwecken genutzt, sondern ebenso in Firmen zur kommerziellen Softwareentwicklung genutzt. Den Studierenden wird so bereits im Studium die Verwendung eines wichtigen Werkzeugs vermittelt. In einer herkömmlichen Papierklausur stehen den Studierenden diese Werkzeuge, deren Verwendung sie durch Übungen und Praktika gewohnt sind, nicht zur Verfügung. Dadurch entsteht für die Studierenden ein Bruch zwischen der Lehr- bzw. Lernphase und der Klausur. Durch eine Umstellung des Prüfungsmodus auf e-Assessment kann dieser Bruch entfernt werden, sodass sich Studierende in der Klausur in derselben Situation wiederfinden, die vorher geübt worden ist. Zudem müssen die Studierenden so auch die Berherrschung einer Entwicklungsumgebung, welche wie bereits erwähnt Teil des späteren Arbeitsalltages sind wird, in der Klausur unter Beweis stellen.
Natürlich ist die Verwendung von fachspezifischen Werkzeugen nicht auf Programmierklausuren beschränkt. Auch Veranstaltungen mit anderen Inhalten, wie z.B. Datenbanken oder Internettechnologien, können diesen Ansatz verfolgen. Ebensowenig ist die Verwendung fachspezifischer Werkzeuge auf die Informatik beschränkt. Architekten oder Maschinenbauer müssen beispielsweise mit CAD-Programmen umgehen können, was sie in einer elektronischen Prüfung unter Beweis stellen können.

4.2 Vereinfachte Korrektur

Dieselben Werkzeuge, die den Studierenden während einer elektronischen Prüfung zur Verfügung stehen, können ebenfalls für die Korrektur genutzt werden. Für das Beispiel Programmierklausur bedeutet dies, dass die Korrigierenden ebenfalls eine Entwicklungsumgebung verwenden können, ohne die Klausuren vorher selbst durch Abtippen aufwändig digitalisieren zu müssen. Die Verwendung einer Entwicklungsumgebung bei der Korrektur

senkt den Aufwand für die Korrigierenden erheblich, da einige Aufgaben bereits von der Entwicklungsumgebung übernommen werden, andere Aufgaben werden drastisch vereinfacht. Syntaxfehler werden beispielsweise vollautomatisch erkannt und ausgegeben bzw. werden in den Lösungen der Studierenden gar nicht mehr vorkommen. Für die semantischen Aspekte stehen den Korrigierenden weitere Werkzeuge, wie z.B. ein Debugger oder Module für Unit-Testing zur Verfügung. Damit lässt sich leicht nachvollziehen, ob die eingereichten Lösungen der Studierenden die Anforderungen der Aufgabenstellung erfüllen bzw. wo Fehler liegen, sofern dies nicht der Fall sein sollte [JM15].
Zusätzlich zu den hier beschriebenen Vorteilen, kommt eine deutlich erhöhte Lesbarkeit der Abgaben. Somit lässt sich der Korrekturaufwand auch über die Verwendung fachspezifischer Werkzeuge hinaus noch einmal reduzieren.

4.3 Höheres Prüfungsniveau

Die bereits beschriebenen Vorteile durch den Einsatz fachspezifischer Werkzeuge während der Korrektur stehen natürlich auch den Studierenden während der Klausur zur Verfügung. Syntaxfehler können also beispielsweise bereits während der Bearbeitung der Aufgabe vermieden werden. Betrachtet man Krathwohls revidierte und erweiterte Fassung von Blooms Taxonomie kognitiver Lernziele (Abb. 1), so lässt sich feststellen, dass somit die unteren Level der Taxonomie, die bei einer Papierklausur häufig einen viel zu großen Teil der Prüfungsleistung ausmachen, nun teilweise von den zur Verfügung stehenden Werkzeugen übernommen werden.

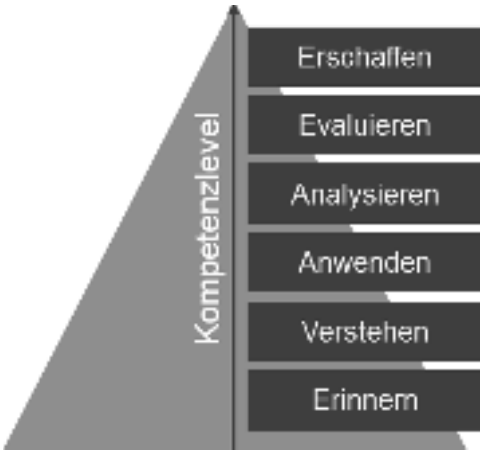


Abb. 1: Taxonomie kognitiver Lernziele nach Krathwohl [Kr02]

In Programmierklausuren können Kompetenzlevel wie z.B. “Erinnern“ in den Hintergrund treten, da Entwicklungsumgebungen Funktionen wie automatische Vervollständigung oder eine eingebaute API-Dokumentation bieten. Durch die Verwendung weiterer Tools, wie z.B. eines Debuggers, können zudem die oberen Kompetenzlevel mehr fokussiert werden.

Es wird beispielsweise einfacher komplexere Aufgabenstellungen umzusetzen, da ein Algorithmus nicht mehr vollständig auf Papier entwickelt werden muss, sondern einzelne Teile des Algorithmus bzw. eines komplexeren Programmsystems während der Entwicklung bereits getestet und nötigenfalls Fehler behoben werden können. Dies bildet zudem deutlich stärker den Arbeitsablauf im späteren Berufsalltag nach, sodass die Ergebnisse einer solchen Programmierklausur für einen potenziellen Arbeitgeber weitaus aussagekräftiger sind.
Theoretisch könnte es durch die Verwendung einer Entwicklungsumgebung in einer Programmierklausur zu *trial and error* bei den Studierenden kommen, also dem (systematischen) Ausprobieren unterschiedlicher Lösungswege. Da eine Entwicklungsumgebung den Studierenden direkt Feedback darüber gibt, ob ein Lösungsansatz das gewünschte Resultat liefert, kann so der richtige Lösungsweg in einer Menge von möglichen Lösungswegen identifiziert werden. Damit das beschriebene Vorgehen zum Erfolg führen kann, müssten die Studierenden zumindest in der Lage sein mehrere Lösungsansätze, darunter den richtigen, anzugeben. Ob dieses Vorgehen daher, vor allem in der knapp bemessenen Zeit einer Klausur, wirklich einen Vorteil liefert, bleibt an dieser Stelle fraglich.

Über Programmierklausuren hinaus sind die hier genannten Vorteile ebenfalls vorhanden. Soll beispielsweise im Rahmen einer Klausur im Fach Software Engineering ein UML-Diagramm eines komplexeren Programmsystems erstellt werden, kann der Fokus bei einer elektronischen Prüfung auf dem Verständnis des Programmsystems und den Zusammenhängen der einzelnen Module liegen, anstatt auf der Fähigkeit der Studierenden formal korrekte UML-Diagramme zu zeichnen. Fragen wie z.B. in welche Richtung ein Pfeil zeigt oder ob eine Pfeilspitze ausgefüllte sein muss stellen sich nicht, da diese Details, welche der untersten Stufe der Kompetenzlevel nach Krathwohl zuzuordnen sind, von einer Software zur Erstellung von UML-Diagrammen übernommen werden.

4.4 Innovative Prüfungsformate

Durch die Verschiebung des Fokus der Kompetenzlevel der Prüfungsaufgaben werden innovative Prüfungsformate möglich. Normalerweise sollen im Rahmen von Programmierklausuren anhand einer gegebenen Aufgabenstellung kleine Programme bzw. eher sogar nur einzele Komponenten innerhalb eines vorgegebenen Lösungsansatzes entwickelt werden. Dazu muss in der Regel ein Konzept von den Studierenden erstellt werden, dessen zugehöriger Quellcode dann als Lösung der Klausuraufgabe aufgeschrieben wird. Aufgrund der Zeitbeschränkungen und mangelnder Hilfsmitteln ist die Aufgabe so reduziert, sodass das Konzept nicht explizit aufgeschrieben werden muss, sondern direkt als Quellcode aufgeschrieben werden kann. Diese Herangehensweise entspricht der klassischen Vorgehensweise bei der Softwareentwicklung. Modernere Methoden sind z.B. Test-driven Development [Be15]. Dabei werden zunächst Testfälle für den Algorithmus entworfen und anschließend der Algorithmus entworfen, sodass er nach und nach immer mehr dieser Testfälle ohne Fehler durchläuft. Im Rahmen einer elektronischen Klausur ist es möglich,

dass den Studierenden vorgefertigte Testfälle zur Verfügung gestellt werden, welche für die Entwicklung des Algorithmus genutzt werden können. Oder Studierende sollen als erweiterten Kompetenznachweis selbst Testfälle erstellen.
Auch jenseits von Programmierklausuren bieten elektronische Klausuren, eventuell sogar noch mehr als bei Programmierklausuren, das Potential für innovative Prüfungsformate. Hierbei birgt speziell der Einsatz von Medien, wie z.B. Audio- oder Videoclips, ein großes Potenzial. In der Medizin, beispielsweise, können unter Einsatz moderner Medien fallbasierte Prüfungen entworfen werden, bei denen die Studierenden z.B. Herztöne hören und beurteilen müssen [Ba09].

4.5 Vereinfachte Archivierung

Im Falle einer Papierklausur bedeutet die Archivierung einer Klausur einen nicht unerheblichen Aufwand, sowohl bezüglich Personal aber auch bezüglich Ressourcen. Zunächst muss genügend Platz vorhanden sein, um alle Klausuren einer Hochschule über den vorgesehenen Zeitraum zu lagern. Zudem sollte ein Archivierungssystem vorhanden sein, sodass eine archivierte Klausur wiedergefunden werden kann. Nicht zuletzt muss jemand die Klausuren anhand dieses Archivierungssystems archivieren und für den Fall, dass eine Klausur nach der Archivierung noch einmal eingesehen werden muss, beispielsweise im Rahmen eines Rechtsstreits, wieder aus dem Archiv holen. Bei elektronischen Klausuren ist der Vorgang des Archivierens automatisierbar, da die Klausuren bzw. die Lösungen der Studierenden bereits digital vorliegen. Das bedeutet, dass für die Archivierung der Klausuren die vorhandenen Datensätze nur noch anhand einer vorab definierten Struktur auf einem geeigneten Speichermedium gespeichert werden müssen. Für den Fall, dass eine Klausur noch einmal eingesehen werden muss, können die vorhandenen Datensätze einfach durchsucht und das entsprechende Dokument eingesehen werden. Damit entfallen große Teile des Aufwandes zur Archivierung einer Klausur.

5 Nachteile durch E-Assessment

Neben den bereits vorgestellten Vorteilen von e-Assessment gibt es auch Nachteile, welche in diesem Abschnitt kurz dargestellt werden.

5.1 Inflexibilität

Für bestimmte Aufgabenstellungen sind Computer nur bedingt geeignet. So sind beispielsweise die Erstellung von Zeichnungen oder die Annotation von Texten im Vergleich zur Papierklausur aufwändiger. Für die Anfertigung einer Zeichnung sollte beispielsweise ein spezielles Zeichentablet verwendet werden, da die Anfertigung mit einer normalen Computermaus nur schwer bzw. die Anfertigung mit dem Touchpad eines Notebooks beinahe unmöglich ist.

5.2 Abhängigkeit von Infrastruktur

Zur Durchführung von e-Assessment ist eine funktionierende Infrastruktur notwendig. Speziell Stromversorgung und meist auch Netzwerkzugriff müssen prinzipiell gewährleistet sein, damit e-Assessment reibungslos auflaufen kann. Bei der Verwendung von Notebooks kann ein kurzzeitiger Stromausfall zwar kompensiert werden, dies kann jedoch nicht als zuverlässige Backup-Strategie angesehen werden. Sofern die Klausur in einem Online-Prüfungssystem abgenommen wird, muss auch durchgängig Netzwerkzugriff gewährleistet sein, damit die Antworten im Prüfungssystem hinterlegt werden können.

5.3 Aufwand

In Abhängigkeit vom speziellen Prüfungsformat kann die Umstellung von Papierklausuren auf e-Assessment einen hohen Aufwand bedeuten. Wenn beispielsweise ein Antwort-Wahl-Verfahren eingesetzt werden soll, muss zunächst ein Fragepool erstellt werden. Dieser sollte im besten Fall qualitätsgesichert sein, um Aussagen über den Schwierigkeitsgrad einer Klausur treffen zu können. Speziell, wenn nur die Blaupause einer Klausur vorgegeben ist und die einzelnen Fragen für die einzelnen Studierenden zufällig aus dem Fragepool ausgewählt werden, muss der Fragepool qualitätsgesichert sein, um die Vergleichbarkeit der Klausuren zu gewährleisten.

6 Sicherheit

Das Thema Sicherheit wird immer wieder im Zusammenhang mit Klausuren diskutiert, nicht nur, wenn es um e-Assessment geht. Daher soll in diesem Abschnitt die Sicherheit von Papierklausuren und e-Assessment gegenüber gestellt werden.
Die Motivation hinter Betrug in einer Klausur ist in den meisten Fällen der eigene Vorteil. Dabei geht es nicht unbedingt darum, besser zu sein, als die anderen Klausurteilnehmer, sondern oftmals darum sich selbst einen Vorteil gegenüber der Situation zu verschaffen, die Klausur ohne Hilfe schreiben zu müssen. Gründe für die Notwendigkeit von Hilfe während der Klausur gibt es viele, beispielsweise zu wenig Zeit zum Lernen oder generelle Verständnisprobleme in Bezug auf den Lehrstoff. Wie eine Hilfe aussehen kann ist sehr unterschiedlich und reicht vom einfachen Spickzettel hin zur Verwendung des Smartphones während der Klausur.
Zunächst scheint e-Assessment anfälliger für die Verwendung unerlaubter Hilfsmittel zu sein, da durch die Verwendung eines Computers in einer Prüfung sicherlich ohne geeignete Gegenmaßnahmen deutlich mehr Möglichkeiten zum Betrug bestehen, als in einer Papierklausur. Bei Verwendung eines geeigneten Klausursystems sind viele dieser Möglichkeiten, wie z.B. die unerlaubte Verwendung des Internets, nicht ohne Weiteres möglich. Welche Software eingesetzt werden kann und welche Möglichkeiten diese bietet

hängt dabei auch von den Rahmenbedingungen ab. Wird ein zentral verwalteter PC-Pool zur Durchführung verwendet, kann das Klausursystem bei entsprechender Konfiguration im Rahmen eines zeitlich beschränkten Zugriffs durch die Studierenden vollständig abgesichert werden. Werden stattdessen die Geräte der Studierenden zur Durchführung verwendet muss für eine Betriebssicherheit deutlich mehr Aufwand betrieben werden, da die Studierenden vor der Klausur uneingeschränkten Zugriff auf die Geräte haben. Dadurch könnten Angriffsmöglichkeiten auf die Klausursoftware bestehen bleiben. Die Ausnutzung dieser Schwachstellen würde aber ein tiefgreifendes Verständnis für den Aufbau und die Funktionalität des Klausursystems voraussetzen. Daher ist fraglich, ob Studierende, die in der Lage sind diese Schwachstellen auszunutzen, nicht mit dem regelkonformen Ablegen der Prüfung besser beraten sind.
Durch die Verwendung von e-Assessment stehen aber nicht nur den Studierenden neue Wege des Betrugs zur Verfügung, sondern den Prüfenden stehen auch neue Möglichkeiten zur Feststellung des Betrugs offen, sodass sich das Bild der anfälligeren elektronischen Prüfung weiter relativieren lässt. Beispielsweise können während der Prüfung Logfiles angelegt werden, sodass sich im Verdachtsfall die Aktionen der Studierenden während der Prüfung nachvollziehen lassen. Natürlich können auch diese Mechanismen theoretisch wiederum Schwachstellen aufweisen, die ausgenutzt werden könnten, jedoch verschiebt sich das Kosten-Nutzen-Verhältnis weiter zu Ungunsten derjenigen, die durch Betrug versuchen, einen Vorteil zu erzielen.
Im Endeffekt wird sich keine Klausur - egal ob Papier oder elektronisch - zu 100% absichern lassen. Daher könnte sich eine Art Wettlauf zwischen Studierenden und Prüfenden ergeben, ob Schwachstellen schneller gefunden und ausgenutzt werden können, als sie geschlossen werden können. Die Alternative dazu ist, dass sich eine Akzeptanz für die verbliebenen Schwachstellen von elektronischen Prüfungen einstellt, wie es auch bereits bei Papierklausuren der Fall ist. Die Entwicklung dieser Akzeptanz könnte durch ein Umdenken von wissenbasierten Prüfungen hin zu kompetenzorientierten Prüfungen unterstützt werden, die beispielsweise als Open-Book Prüfung konzipiert werden können, sodass den Studierenden von vorneherein sämtlich Informationen zur Verfügung stehen und der Anreiz zum Betrug deutlich gesenkt wird. Für Programmierklausuren ist dies definitiv möglich, indem z.B. APIs für Programmiersprachen oder ähnliche Informationen bereitgestellt werden, dafür die Aufgaben aber komplexer gestaltet werden (vgl. auch 4.3).

7 Forschungsausblick

Trotz aller Vorteile ist e-Assessment nicht flächendeckend etabliert [Ho16], oft auch aus finanziellen Gründen. Die Anschaffung und Administration einer geeigneten IT-Infrastruktur ist teuer, sowohl in Bezuf auf Sachkosten, als auch in Bezug auf Personalkosten [BEH09][Bü10]. Da der Großteil der Studierenden bereits selbst Endgeräte besitzt, die sich potenziell für e-Assessment eignen [Da15][Po15][Wi16], ist Bring Your Own Device (BYOD) eine mögliche Lösung für diese Kostenproblematik. Grundsätzlich gibt es verschiedene Ansätze, wie BYOD implementiert werden kann [KS16]. Die Unterschiede zwischen diesen Ansätzen

betreffen hauptsächlich die Software, welche während einer Klausur eingesetzt wird, und die Netzanbindung der Geräte der Studierenden. Speziell bei der Durchführung von Prüfungen auf Geräten der Studierenden ist Sicherheit ein relevantes Thema. Ein bekannter Weg, um Computer für einen definierten Zeitraum abzusichern, ist ein sogenanntes Lockdown-Programm. Sobald solch ein Programm gestartet wurde, sorgt es dafür, dass die Studierenden nur noch zugelassene Programme, wie z.B. eine Entwicklungsumgebung, starten und nur noch zugelassene Webseiten besuchen können. Es gibt bereits einsatzfähiger Software, welche die beschriebene Funktionalität bietet [Fr10][FSZ12]. Als Beispiele können, neben Anderen, der SafeExamBrowser der ETH Zürich oder der LockDown Browser der Firma Respondus genannt werden. Es gibt in dieser Art von Software jedoch einige Angriffspunkte [Sø16], die beim Einsatz in einem BYOD-Szenario zwingend ausgeräumt werden müssen. Daher soll im Rahmen eines Forschungsvorhabens evaluiert werden, ob die existierenden Angriffspunkte ausgeräumt werden können, oder ob neue Ansätze gefunden werden müssen, um e-Assessment in einem BYOD-Szenario hinreichend abzusichern. Eine weiterführende Diskussion zu diesem Thema wird von Küppers et. al. in [Kü17] gegeben. Neben dem Thema Sicherheit sollen die in diesem Artikel als Nachteile dargestellten Punkte beforscht und auch dafür innovative Lösungen entwickelt werden.

8 Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Artikel wurden die Unterschiede zwischen Papierklausuren und elektronischen Klausuren mit dem Fokus auf Klausuren in der Programmierung beleuchtet. Dabei wurden Vorteile und Nachteile aufgezeigt und diskutiert. Speziell das Thema Sicherheit wurde dabei adressiert, da dies ein wiederkehrendes Thema ist, wenn es um e-Assessment geht. Über die reine Digitalisierung von Klausuren hinaus, bietet e-Assessment das Potenzial der Prüfung höherer Taxonomiestufen. Speziell der letztgenannte Punkt ist eine deutliche qualitative Verbesserung gegenüber traditionallen Papierklausuren. Daher ist geplant, die hier angesprochenen Vorteile von elektronischen Programmierklausuren im Rahmen einer prototypischen Implementierung, die innovative Lösungen für die mit den Nachteilen angedeuteten Herausforderungen bietet, umzusetzen und deren Mehrwert zu evaluieren. Dabei sollen insbesondere die sicherheitsrelevanten Fragen beforscht werden.

Literaturverzeichnis

[AM05] Ala-Mutka, Kirsti: A Survey of Automated Assessment Approaches for Programming Assignments. Computer Science Education, 15(2):83–102, 2005.

[Ba09] Baumann, Martin; Steinmetzer, Jan; Karami, Mazdak; Schäfer, Gereon: Innovative electronic exams with voice in- and output questions in medical terminology on a high taxonomic level. Medical Teacher, 31(10):e460–e463, 2009.

[Be15] Beck, Kent: Test-driven development: By example. A Kent Beck signature book. Addison-Wesley, Boston, 20. printing. Auflage, 2015.

[BEH09] Biella, Daniel; Engert, Steffi; Huth, Dieter: Design and Delivery of an E-assessment Solution at the University of Duisburg-Essen. In: Proceedings EUNIS 2009. EUNIS Proceedings, 2009.

[Bü10] Bücking, Jens: eKlausuren im Testcenter der Universität Bremen: Ein Praxisbericht. https://www.campussource.de/events/e1010tudortmund/docs/Buecking.pdf, 2010 [Abgerufen am 21.06.2017].

[Da15] E. Dahlstrom et. al.: Undergraduate Students and IT. https://library.educause.edu/~/media/files/library/2015/8/ers1510ss.pdf?la=en, 2015 [Abgerufen am 21.06.2017].

[Fr10] Frank, Ariel J.: Dependable distributed testing: Can the online proctor be reliably computerized? In (Marca, David A., Hrsg.): Proceedings of the International Conference on E-Business. SciTePress, S.l., 2010.

[FSZ12] Frankl, Gabriele; Schartner, Peter; Zebedin, Gerald: Secure online exams using students' devices. In: 2012 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON). S. 1–7, 2012.

[Ho16] Hochschulforum Digitalisierung: The Digital Turn: Hochschulbildung im digitalen Zeitalter. https://hochschulforumdigitalisierung.de/sites/default/files/dateien/Abschlussbericht.pdf, 2016 [Abgerufen am 21.06.2017].

[HQW08] Hoffmann, Andreas; Quast, Alexander; Wismüller, Roland: Online-Übungssystem für die Programmierausbildung zur Einführung in die Informatik. In: DeLFI. 2008.

[JM15] Jara, Nicole; Molina Madrid, Manuel: Bewertungsschema für eine abgestufte Bewertung von Programmieraufgaben. In (Pongratz, Hans, Hrsg.): DeLFI 2015 - die 13. E-Learning Fachtagung Informatik der Gesellschaft für Informatik e.V, GI-Edition Lecture Notes in Informatics Proceedings, S. 233–240. Ges. für Informatik, Bonn, 2015.

[KJH16] Keuning, Hieke; Jeuring, Johan; Heeren, Bastiaan: Towards a Systematic Review of Automated Feedback Generation for Programming Exercises. In: Proceedings of the 2016 ACM Conference on Innovation and Technology in Computer Science Education. ACM, S. 41–46, 2016.

[Kr02] Krathwohl, David R.: A Revision of Bloom's Taxonomy: An Overview. Theory Into Practice, 41(4):212–218, 2002.

[KS16] Küppers, Bastian; Schroeder, Ulrik: BRING YOUR OWN DEVICE FOR E-ASSESSMENT - A REVIEW. In (Gómez Chova, Luis; López Martínez, Agustín; Candel Torres, Ignacio, Hrsg.): International Conference on Education and New Learning Technologies. EDULEARN proceedings. IATED, S. 8770–8776, 2016.

[KSZ02] Krinke, Jens; Störzer, Maximilian; Zeller, Andreas: Web-basierte Programmierpraktika mit Praktomat. Softwaretechnik-Trends, 22(3), Oktober 2002.

[Kü17] Küppers, Bastian; Kerber, Florian; Meyer, Ulrike; Schroeder, Ulrik: Beyond Lockdown - Towards Reliable e-Assessment. DeLFI 2017 [noch nicht erschienen], 2017.

[Mi15] L. P. Michel et. al.: Digitales Prüfen und Bewerten im Hochschulbereich: Arbeitspapier Nr. 1. https://hochschulforumdigitalisierung.de/sites/default/files/dateien/HFD%20AP%20Nr%201_Digitales%20Pruefen%20und%20Bewerten.pdf, 2015 [Abgerufen am 21.06.2017].

[PD14] Politze, Marius; Decker, Bernd: RWTHApp: from a requirements analysis to a service oriented architecture for secure mobile access to personalized data. In: Proceedings EUNIS 2014. Jgg. 20 in EUNIS Proceedings, 2014.

[Po15] Poll, Harris: Student Mobile Device Survey 2015: National Report: College Students. http://www.pearsoned.com/wp-content/uploads/2015-Pearson-Student-Mobile-Device-Survey-College.pdf, 2015 [Abgerufen am 21.06.2017].

[PSD16] Politze, Marius; Schaffert, Steffen; Decker, Bernd: A secure infrastructure for mobile blended learning applications. In: Proceedings EUNIS 2016. Jgg. 22 in EUNIS Proceedings, S. 49–56, 2016.

[SBG09] Striewe, Michael; Balz, Moritz; Goedicke, Michael: A Flexible and Modular Software Architecture for Computer Aided Assessments and Automated Marking. In: Proceedings of the 1st International Conference on Computer Supported Education 2009. Lisboa, Portugal, S. 54–61, 2009.

[Sø16] Søgaard, Thea Marie: Mitigation of Cheating Threats in Digital BYOD exams. Masterarbeit, Trondheim, 2016.

[Wi16] Willige, Janka: Auslandsmobilität und digitale Medien: Arbeitspapier Nr. 23. https://hochschulforumdigitalisierung.de/sites/default/files/dateien/HFD_AP_Nr23_Digitale_Medien_und_Mobilitaet.pdf, 2016 [Abgerufen am 21.06.2017].

Teilhabe an der allgemeinen Kommunikation

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 321

Workshop „Teilhabe an der allgemeinen Kommunikation“

Henning Lübbecke

Zukünftig wird uns Informations- und Kommunikationstechnik überall umgeben und Arbeit, Bildung, Teilhabe, Kommunikation, Informationsgewinnung, Mobilität, Wohnen, Einkaufen etc. prägen. Wie können diese Technologien (in Zeiten des Ubiquitous Computing und des Internet der Dinge) die gleichberechtigte Teilhabe aller an der Gesellschaft sicherstellen bzw. ermöglichen?

Stefanie Linde und Eberhard Zehendner beschäftigen sich mit den speziellen Bedürfnissen der Generation Plus hinsichtlich der IT-Sicherheit am Beispiel von Captcha-Mechanismen. In unserem Workshop möchten Sie gerne die nachfolgenden Fragen diskutieren:

Stehen Menschen in anderen einschränkenden, tendenziell sogar benachteiligen-den Situationen vor ähnlichen Problemen im Umgang mit der IT-Sicherheit wie ältere Menschen? Was können wir in dieser Hinsicht voneinander lernen? Wer sind kompetente Ansprechpartner?

Könnte einschlägige Methodik aus einem speziellen Bereich auch in einem anderen nützlich sein? Besteht die Möglichkeit von Synergien? Könnten Aktivitäten in vergleichbarer Richtung gebündelt werden? Sind Kooperationen und gemeinsam durchgeführte Projekte denkbar?

Könnten hilfreiche Produkte (Programme, Apps, Geräte, Hilfsmittel) so gestaltet werden, dass sie für verschiedene Gruppen Betroffener ähnlich gut nutzbar sind? Oder unterschiedliche Produkte zumindest auf gemeinsamen Zielen und Ansätzen basieren? Worauf ist dabei in der Praxis zu achten? Welche Vorschriften, Richtlinien, Orientierungspunkte und Minimalstandards gibt es hier?

Petra Gröber analysiert in ihrem Beitrag warum Internetseiten für Blinde nicht barrierefrei sind und heute häufig noch dieselben Probleme wie vor zehn Jahren bestehen. Frau Gröber gibt einen Überblick über die existierenden Gesetze und Richtlinien zur Erstellung barrierefreier Webseiten, Speziallösungen zur Nutzung von Webseiten durch Blinde und Werkzeuge zur Überprüfung der Barrierefreiheit von Webseiten. Sie zeigt dann einen Weg, wie Webseiten zukünftig barrierefrei werden und bleiben können.

Der zweite Teil des Workshops beschäftigt sich mit der Barrierefreiheit in Bezug auf die Belange von Menschen mit kognitiven Beeinträchtigungen.

doi:10.18420/in2017_25

Susanne Dirks und Christian Bühler stellen in ihrem Beitrag die wichtigsten klassischen Ansätze der Technologie-Akzeptanzforschung vor. Sie schlagen auf der Basis von Untersuchungen zur Akzeptanz von assistiven Technologien für Menschen mit kognitiven Beeinträchtigungen Erweiterungen der bestehenden Ansätze vor, da die erfolgreiche und dauerhafte Anwendung assistiver Software in dieser Nutzergruppe in besonderer Weise von Faktoren abhängig ist, die in den klassischen Ansätzen der Technologie-Akzeptanzforschung nicht ausreichend berücksichtigt werden. Unterstützt wird die Modell-Entwicklung durch die Ergebnisse der ersten Phase einer Akzeptanzstudie für die Nutzung der Mediata-App.

Christian Bühler und Miriam Padberg stellen den Prototyp einer mobilen Applikation zur multimedialen Darstellung von Arbeitsvorgängen vor, der über eine an den Nutzer anpassbare Bedienoberfläche verfügt. Diese Applikation ermöglicht die Nutzung mobiler Endgeräte als Unterstützungsmedium von Menschen mit kognitiven Behinderungen im Berufsleben.

Isabel Dziobek, Ulrike Lucke und Arne Manzeschke stellen ethische Leitlinien für die bedarfsgerechte Gestaltung von Assistenz oder Trainingssystem, an einem konkreten Beispiel aus der Autismus-Forschung, vor. Diese Leitlinien sollen das ethische Grundverständnis von Systemgestaltern und –anbietern schärfen, um Gefahren, wie die der Ausgrenzung, zu minimieren.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 323

Untersuchung und Optimierung der Benutzbarkeit altersangepasster Captcha-Mechanismen – Ein sanfter Einstieg in das Gebiet der IT-Sicherheit für die Generation Plus

Stefanie Linde[1] und Eberhard Zehendner[2]

Abstract: Den in Folge umfassender Digitalisierung speziellen Bedürfnissen der Generation Plus (als positiv konnotierter Sammelbegriff für meist ältere Personen, bei denen bestimmte Prozesse des Alterns bereits zu einschränkenden bis hin zu benachteiligten Situationen geführt haben bzw. in absehbarer Zeit führen werden) wird insbesondere im Umgang mit IT-Sicherheit nicht ausreichend Rechnung getragen. Zu klären wären zunächst diesbezügliche Ähnlichkeiten zur Situation weiterer Betroffener, vor allem behinderter Menschen, aber auch chronisch Erkrankter, Kinder sowie möglicherweise weiterer Gruppen. Sich widersprechende bzw. nicht ausreichend fundierte Vorergebnisse hinsichtlich von Korrelationen des konkreten Lebensalters mit störenden altersbedingten Prozessen sowie deren Auswirkungen auf die Handhabbarkeit üblicher Maßnahmen im Bereich der IT-Sicherheit sind sorgfältig abzuklären. Als initiales Studienfeld bieten sich angepasste Captcha-Mechanismen an, da bei diesen ähnliche Fragen der Usability auftreten wie im Zusammenhang mit „harten" Mechanismen der IT-Sicherheit, letztere jedoch meist ein deutlich höheres Maß an Vertraulichkeit anstreben und daher zum Experimentieren aufwendigere Umgebungen erfordern.

Keywords: Usability, Generation Plus, barrierefrei, uneingeschränkter Zugang, IT-Sicherheit, Captcha, altersbedingte Einschränkungen, Synergie zu problemverwandten Gruppen

1 Einleitung

Demographisch wächst in Deutschland derzeit und (recht sicher vorhersagbar, vgl. zum Beispiel [BMI15, S. 24] oder [St17]) auch in den nächsten Jahrzehnten eine Gruppe von Menschen zahlenmäßig stark an, die – mehr oder weniger unscharf, sogar in Bezug auf das konkrete Lebensalter, und etwas altmodisch, manchmal auch abwertend – als Seniorinnen und Senioren, alte Menschen, ältere Menschen oder die ältere Generation, blumig etwas überzogen auch als Silver Surfer oder Best Ager bezeichnet werden. In Übereinstimmung mit der Broschüre *Wir setzen auf Ihre Erfahrung!* der Bundesregierung [Bu15] und konkret mitgetragen von etlichen Ministerien und wichtigen Verbänden nennen wir diese Gruppe von Menschen hier – positiv besetzt – die *Generation Plus*.

Als Zielgruppe von Marketingstrategien und Vermögensanlage wird die Generation Plus durchaus geschätzt, da sie (durchschnittlich) über ansehnliche Ressourcen verfügt. Wird

[1] Friedrich-Schiller-Universität Jena, Institut für Informatik, Ernst-Abbe-Platz 2, 07743 Jena, stefanie.linde@uni-jena.de
[2] Friedrich-Schiller-Universität Jena, Institut für Informatik, Ernst-Abbe-Platz 2, 07743 Jena, nez@uni-jena.de

doi:10.18420/in2017_26

aber ihren speziellen Bedürfnissen in Folge umfassender Digitalisierung, hier speziell: der IT-Sicherheit, ausreichend Rechnung getragen? Wir haben nicht den Eindruck.

Etwa seit Anfang dieses Jahres beschäftigen wir uns daher (unter anderem im Rahmen universitärer Seminare) intensiv mit unserem Leitthema *IT-Sicherheit im Alter*.

2 Erwartungen an diesen Workshop

In der Workshop-Reihe *Teilhabe an der allgegenwärtigen Kommunikation* fühlen wir uns hinsichtlich unseres gegenwärtigen Arbeitsgebietes gut aufgehoben: Einerseits sind Maßnahmen der IT-Sicherheit mittlerweile aus der elektronischen Kommunikation nicht mehr wegzudenken – wie erst jüngst wieder die spektakulären Folgen der Schadsoftware *WannaCry* all denen sprichwörtlich *vor Augen geführt* haben, die denn sehen konnten – und auch wollten. Andererseits stehen die spezifischen Bedürfnisse etlicher relevanter gesellschaftlicher Gruppen, darunter die der älteren Menschen, nach für sie adäquater Benutzbarkeit diesbezüglicher Sicherheitstechnologien nicht gerade im Fokus wissenschaftlicher Forschung und Lehre, technologischer Entwicklung und gesellschaftlicher Diskussion.

Es gibt also Handlungsbedarf; mögliche Akteuere, Gesprächs-, Forschungs- und Bündnispartner hoffen wir nun unter anderem in genau diesen Workshops zu finden. Wir sind gespannt, auf welche Erfahrungen, Ansichten und Ansätze wir dabei treffen werden, sowohl was unsere derzeitige primäre Gruppe von Betroffenen (die Älteren) angeht, aber auch – und gerade – hinsichtlich der Gruppe der Menschen mit Behinderungen, auf die der Ankündigungstext des diesjährigen Workshops sein besonderes Augenmerk richtet. Bezüge zu den Interessen weiterer betroffener gesellschaftlicher Gruppen werden wir weiter unten herausarbeiten, denn es geht im Workshop ja um die Teilhabe *aller* an der Gesellschaft.

Mögliche Fragestellungen in Gespräch und Diskussion könnten dabei sein:

- Stehen Menschen in anderen einschränkenden, tendenziell sogar benachteiligenden Situationen vor ähnlichen Problemen im Umgang mit der IT-Sicherheit wie ältere Menschen? Was können wir in dieser Hinsicht voneinander lernen? Wer sind kompetente Ansprechpartner?
- Könnte einschlägige Methodik aus einem speziellen Bereich auch in einem anderen nützlich sein? Besteht die Möglichkeit von Synergien? Könnten Aktivitäten in vergleichbarer Richtung gebündelt werden? Sind Kooperationen und gemeinsam durchgeführte Projekte denkbar?
- Könnten hilfreiche Produkte (Programme, Apps, Geräte, Hilfsmittel) so gestaltet werden, dass sie für verschiedene Gruppen Betroffener ähnlich gut nutzbar sind? Oder unterschiedliche Produkte zumindest auf gemeinsamen Zielen und Ansätzen

basieren? Worauf ist dabei in der Praxis zu achten? Welche Vorschriften, Richtlinien, Orientierungspunkte und Minimalstandards gibt es hier?

Als kleine, personell wie finanziell noch schwach ausgestattete Arbeitsgruppe (eine für mehrere Arbeitsgebiete zuständige Professur, eine nebenberufliche wissenschaftliche Hilfskraft, ein Master-Student sowie einige wenige Studierende in Seminaren) sind wir derzeit gezwungen, unsere Aktivitäten auf gut überschaubare Fragestellungen und mit geringem Zeitaufwand leistbare Untersuchungen zu beschränken. Unser Schwerpunkt liegt dabei gegenwärtig auf klassischer Web-Accessibility mittels Smartphone oder Desktop-PC. Wir möchten jedoch die Möglichkeit nutzen, im Rahmen des Workshops unsere Kenntnisse auf angrenzende Bereiche wie das Internet der Dinge zu erweitern.

3 Unsere primäre Zielgruppe: die Generation Plus

Weiter oben im Text hatten wir bereits unter verschiedenen, mehr oder weniger passenden, Benennungen unserer ins Auge gefassten Zielgruppe zu wählen und uns dort auf die Bezeichnung *Generation Plus* festgelegt. Dies besagt jedoch noch nicht, dass klar wäre, welche Personen zu dieser Gruppe zu zählen sind. Zwar erscheinen die Verhältnisse in den von uns studierten Überblicksarbeiten (hier vor allem Czaja & Lee [CL07], Renaud & Ramsey [RR07] sowie Hämäläinen [Hä15]) relativ einheitlich und klar. Bei genauerer Betrachtung hält aber gerade das zentrale Zuordnungskriterium *Lebensalter* einer sachlichen Analyse nicht stand: die Generation Plus ist alles andere als homogen, Effekte des Alterns zeigen sich zu unterschiedlichen Zeitpunkten und selbst der häufig auch nur implizit unterstellte Zusammenhang zwischen Altern und Eintritt in den Ruhestand (oder vielleicht auch anders herum?) scheint so stringent nicht zu sein.

3.1 Wer genau zählt denn nun zur Generation Plus?

Die Generation Plus ist aufgrund ihrer großen Heterogenität schwierig zu definieren und abzugrenzen. Viele Studien, die sich dieser Zielgruppe gewidmet haben, orientieren sich oft am exakten Lebensalter und setzen einen definierten Cut-off bei 65 Jahren [CL07, Hä15, RR07].

Dass diese Fixierung auf exakt 65 Lebensjahre mittlerweile methodisch fragwürdig ist, ergibt sich allein schon aus der Tatsache, dass diese Festlegung ihre Berechtigung nur aus der früher für alle abhängig Erwerbstätigen in Deutschland immerhin noch einheitlichen Regelaltersgrenze der gesetzlichen Rentenversicherung bezog – wobei natürlich auch schon dort der Eintritt in den Altersruhestand zu individuellen Zeitpunkten erfolgte. Mittlerweile ist jedoch infolge des RV-Altersgrenzenanpassungsgesetzes eine solche einheitliche Bezugsgröße auch formal nicht mehr fingierbar. Allenfalls könnte ersatzweise auf die neuen, nach Geburtsjahr gestaffelten Regelaltersgrenzen Bezug genommen werden, was uns aber nicht praktikabel erscheint.

Außerdem – und dies scheint uns von noch größerer Bedeutung – werden bestimmte medizinische und/oder psychologische Prozesse, die dieser Generation normalerweise relativ pauschal zugeschrieben werden, bei einigen Menschen beispielweise schon in den späten Fünfzigern, bei anderen dagegen unter Umständen erst in den späten Sechzigern sichtbar. Daher sehen wir davon ab, die Gruppe der Generation Plus ausschließlich nach dem Lebensalter zu definieren. Vielmehr schließen wir all diejenigen Personen unter dem Begriff Generation Plus ein, bei denen bestimmte Prozesse des Alterns zu einschränkenden bis hin zu benachteiligten Situationen im Umgang mit IT-Sicherheit geführt haben bzw. in absehbarer Zeit noch führen werden.

3.2 Was genau charakterisiert die Gruppe der Älteren? Mit welchen Effekten muss im Alter gerechnet werden?

Verschiedene altersrelevante Prozesse wurden schon von anderen Forschern zusammengetragen (vgl. beispielsweise [CL07, Hä15, RR07]) und sollen daher hier nur kurz umrissen werden. Mit dem Alter gehen diverse Verringerungen sowohl von kognitiven als auch von körperlichen Fähigkeiten einher. Unterschiedliche Gedächtnissysteme wie das episodische Gedächtnis oder das Arbeitsgedächtnis sind von Prozessen des Alterns beeinträchtigt, ebenso die fluide Intelligenz und die selektive Aufmerksamkeit (also die Fähigkeit, seinen Fokus auf ein Aufgabenobjekt zu konzentrieren und ablenkende Stimuli auszublenden).

Zusätzlich treten Beeinträchtigungen des Sehens (wie verringerte Kontrastwahrnehmung und Schwierigkeiten bei der Erkennung feiner Details) und des Hören (reduziertes Sprachverständnis bei Nebengeräuschen) auf. Außerdem fällt es schwerer, auf kleine Objekte zu klicken oder den Doppelklick auszuführen.

3.3 Bezüge zu anderen Zielgruppen

Probleme älterer Menschen im Umgang mit Mechanismen der IT-Sicherheit finden ggf. Entsprechungen auch bei Menschen mit zunächst anderen Formen von Einschränkung.

Für unser später noch zu diskutierendes Testfeld Captcha spielen in erster Linie Sehbehinderungen eine Rolle, da Captchas vorwiegend visuell präsentiert werden. Darunter fallen zum Beispiel Behinderungen infolge von Krankheiten wie altersbedingte Makuladegeneration (AMD), Glaukom, Diabetische Retinopathie oder Katarakt. Außerdem fallen Tätigkeiten, wie beispielweise auf kleine Objekte zu klicken oder den Doppelklick auszuführen, besonders den Menschen schwer, die an Krankheiten leiden, welche die Motorik beeinträchtigen (z.B. Morbus Parkinson oder Rheuma). Auch hinsichtlich der Bereiche der Hörbehinderungen, Behinderungen, die mehrere Sinne betreffen wie das Sehen und Hören, oder geistige Behinderungen sind Synergien zu unserer Zielgruppe denkbar.

Zu klären wäre auch, welche Problem-Schnittpunkte es zu Menschen gibt, deren Beeinträchtigungen per Definition nicht als Behinderung angesehen werden, die aber dennoch nicht mit einem Smartphone oder einem Desktop-PC arbeiten können. Welche Erkenntnisse gibt es im Bereich ADS/ADHS und IT-Sicherheit? Welche anderen Forschungen zu anderen Gruppen gibt es, von denen wir lernen können?

Ebenso sind Synergien zu Forschungen aus der IT-Sicherheit bei Kindern interessant. Ist der Zugang zu einer Plattform, welche frei von Anforderungen an Lese- und Schreibfähigkeiten ist, ebenso frei von Captchas, bei denen Lesen und Schreiben gefordert ist? Wie schnell verstehen Kinder, wie sie mit Captchas umgehen müssen?

4 Captchas

Als ein einfacher und trotzdem wirksamer Sicherheitsmechanismus werden seit einigen Jahren und aufgrund massiver Angriffe mit Schadsoftware gerade jetzt wieder verstärkt sogenannte *Captchas* auf Webseiten eingesetzt.

4.1 Was sind Captchas und wofür werden sie verwendet?

Der Begriff *Captcha*, 2003 geprägt von Luis von Ahn und anderen, ist ein Acronym und steht für ***c****ompletely* ***a****utomated* ***p****ublic* ***T****uring test to tell* ***c****omputers and* ***h****umans* ***a****part* [ABL04]. Ein Captcha ist eine spezielle Sicherheitsmaßnahme, mit der verhindert werden soll, dass ein Computer(programm) sich für einen Menschen ausgeben kann und dadurch unerlaubt Zugriff auf Daten, Programme oder generell Befugnisse erhält, die Menschen vorbehalten bleiben sollen.

Das Grundprinzip eines Captchas ist immer das gleiche: Es wird eine Testfrage gestellt, die von einem Menschen meist problemlos richtig beantwortet werden kann, durch einen Computer dagegen nur mit einer sehr geringen Erfolgswahrscheinlichkeit. Wird die Testfrage korrekt beantwortet, nimmt das testende System – und mit einer hohen Plausibilität zurecht – an, dass ein Mensch die Eingabe getätigt hat, und gewährt Zugang zu den gewünschten Privilegien. Bei falsch beantworteter Testfrage geht das System von einem maschinellen Zugriffsversuch aus und weist diesen ab.

Die Anwendungen von Captchas sind vielfältig. Bereits kurz nach ihrer Erfindung wurden sie benutzt, um Bots (Programme, die ohne Interaktion mit Menschen) zum Beispiel an folgenden unerlaubten oder unerwünschten Aktionen zu hindern: Manipulation von Online-Abstimmungen, Erschleichen kostenloser E-Mail-Konten, Katalogisieren der Inhalte von Webseiten, Verbreitung von Schadsoftware und Massenwerbung, systematisches Ausprobieren fremder Passwörter [ABL04]. Mittlerweile schützen Captchas auch Blogs vor automatischer Verfälschung, verhindern massenhaften Download von urheberrechtlich geschützten Werken (Musik, Videos) und behindern die Durchführung anderer Cyberattacken.

4.2 Die Grenzen des Nutzens von Captchas – und warum wir sie gerade deswegen als Testfeld verwenden wollen

Von Ahn et al. gingen sogar so weit zu formulieren, dass jeder Test, der automatisch (also von einer Maschine, einem Programm etc.) erzeugt, aber *derzeit von keinem* Computerprogramm bestanden werden kann, wohl aber von den *meisten* Menschen, ein Captcha darstellt [ABL04]. Eine solch treffsichere Unterscheidung zwischen Mensch und Maschine hat sich mittlerweile als Mythos erwiesen: 2014 stellten Google-Forscher einen Algorithmus vor, der verzerrte Ziffern, wie sie in konventionellen Captchas lange verwendet wurden (und teilweise immer noch werden), in 99,8 Prozent aller Fälle erkennen konnte – und damit besser war als viele Menschen [Go14].

Wenn die Maschine also zu gut für das Captcha-Verfahren ist, funktioniert dieses nicht mehr und kann seinen ursprünglichen Zweck nicht erfüllen. Hier jedoch wollen wir die Aufmerksamkeit gerade auf das umgekehrte Problem richten: Der einzige Zweck eines Captchas besteht darin, zwischen Mensch und Maschine unterscheiden zu können. Ein Captcha-Verfahren soll dagegen nicht einem Menschen Zugriff gewähren und einem anderen verweigern (was zum Beispiel durch die Abfrage von Passwörtern möglich wäre). Wenn nun, wie oben erwähnt, nur die meisten, nicht aber *alle* Menschen ein bestimmtes Captcha lösen können – wer wird dann ausgeschlossen? Und warum?

Diese Fragestellungen scheinen zunächst vollständig diametral zu allgemeinen Teilhabe-Problemen der IT-Sicherheit, wo es ja insbesondere darum geht, dass zwar ohnehin nur einzelnen, genau bestimmten Menschen (sogenannten Berechtigten) ein Systemzugang ermöglicht werden soll, durch unangepasste Gestaltung der Zugangsprüfung teilweise aber auch Zugriffsversuche von in ihren Möglichkeiten eingeschränkten Berechtigten abgewiesen werden. Genauer betrachtet, folgen aber solche Situationen aus ähnlichen Mängeln des jeweiligen Zugangsmechanismus, es handelt sich um *Usability-Probleme*.

Soll nun eine derartige Problematik im Zusammenhang mit „harten“ Mechanismen der IT-Sicherheit (also Authentifizierung) untersucht werden, muss erst eine geeignete Systemumgebung bereitgestellt werden. Dazu gehören – neben einer die beabsichtigten Zielgruppen motivierenden Webseite – ein Authentifizierungssystem mit Mechanismen zur Verteilung und Überprüfung von Zugangscodes sowie eine genügend große Anzahl *identifizierbarer* Zugriffsberechtigter.

Im Gegensatz dazu ist die Verwendung von Captchas relativ einfach zu motivieren, auf „realen“ Webseiten wird teilweise nicht einmal erklärt, wozu dieser zusätzliche Schritt dienen soll, er ist mittlerweile sozusagen *selbstverständlich*. Außerdem müssen zum Beantworten von Captchas keine persönlichen Daten preisgegeben werden. Auch eine Zusammenarbeit mit Betreibern „echter“ Webseiten dürfte daher unproblematisch sein.

Unser Ansatz ist daher, als initiales Studienfeld für die Usability von Zugangsverfahren an bestimmte Beeinträchtigungen anpassbare bzw. angepasste Captcha-Mechanismen zu untersuchen und erst nach Vorliegen hinreichend plausibler und relevanter Ergebnisse den Versuch einer Übertragung auf Authentifizierungsmechanismen zu unternehmen.

4.3 Usability als zentrale Forderung beim Einsatz von Captchas

Da es sich auch bei Captchas um Sicherheitsmechanismen handelt, wird zunächst die Frage zu beantworten sein, ob (und falls ja, in welchem Maße) zugunsten einer erhöhten Usability die erreichte Sicherheit beeinträchtigt werden dürfte. Dies kann nicht allein innerhalb der Fachwissenschaft geklärt werden, sondern muss interdisziplinär und vor allem mit der Praxis diskutiert werden. Abhängig vom Ergebnis werden dann evtl. vor allem Verfahren relevant sein, die trotz besserer Usability keine zusätzlichen Schwächen in Hinsicht auf automatisierte Angriffe aufweisen.

Den typischen Problemen unserer primären Zielgruppe Generation Plus entsprechend, werden sich dann die eher technikgeleiteten Untersuchungen wohl zunächst auf visuelle Probleme und die Schwierigkeiten bei der Eingabe von Antworten konzentrieren. Aber auch Untersuchungen im Bereich Akustik sowie dem Verständnis unkonventioneller Captchas (zum Beispiel Rechenaufgaben) wird einige Bedeutung zukommen, da immer mehr neuartige Formen von Captchas im praktischen Betrieb zu verzeichnen sind.

Ein nicht zu vernachlässigender Ansatz ist der „weiche“ Umgang mit Fehleingaben, sei es aufgrund „Verschreibens“, ungenauer Wahrnehmung oder falscher Auffassung vom zu lösenden Problem. Zunächst ist hierbei festzustellen, wie hoch die Frustrationstoleranz der jeweiligen Zielgruppe überhaupt ist, also wie viele Wiederholungen ein Mensch für einen gewünschten Zugriff akzeptieren würde. Aus nicht altersbezogenen Untersuchungen ist bekannt [Bu10], dass manchmal schon nach dem zweiten Versuch abgebrochen wird; derartige Untersuchungen müssten also mit der spezifischen Zielgruppe wiederholt werden. Denkbar wäre, nach einer Fehleingabe die Schwierigkeit der Aufgabe abzusenken oder den Captcha-Typ zu wechseln.

5 Ausblick

Auch wenn in unserem Untersuchungsgebiet vor allem viele offene Fragen und wenige Antworten zu finden sind, scheint uns eine frühzeitige Diskussion darüber wichtig, um Kräfte bündeln und gleich in eine erfolgversprechende Richtung arbeiten zu können. Wir hoffen also auf spannende und fruchtbare Diskussionen im Rahmen des Workshops.

Literaturverzeichnis

[ABL04] Ahn, L. v.; Blum, M.; Langford, J.: Telling humans and computers apart automatically. In: Commun. ACM 47 (2), Feb. 2004, S. 56–60.

[BMI15] Bundesministerium des Innern (BMI): Jedes Alter zählt. „Für mehr Wohlstand und Lebensqualität aller Generationen“. Weiterentwicklung der Demografiestrategie der Bundesregierung. Berlin, 2015.

[Bu10] Bursztein, E. et al.: How good are humans at solving CAPTCHAs? A large scale evaluation. In: IEEE Symposium on Security and Privacy, 2010, S. 399–413.

[Bu13] Presse- und Informationsamt der Bundesregierung: Wir setzen auf Ihre Erfahrung! Erfahrung ist Zukunft. Flyer, Berlin, Stand: 15. Januar 2013.

[CL07] Czaja, S.J.; Lee, C.C.: The impact of aging on access to technology. In: Univ Access Inf Soc 5 (4), 2007, S. 341–349.

[Go14] Google-Algorithmus löst Captchas besser als Menschen, Spiegel Online, 17.4.2014, http://www.spiegel.de/netzwelt/web/google-knackt-den-captcha-code-a-964955.html.

[Hä15] Hämäläinen, N.: Biometrics as an alternative to passwords for older users. Bachelor Thesis, University of Jyväskylä, Information Systems Science, 2015.

[St17] Statista: Entwicklung der Altersstruktur in Deutschland von 1950 bis 2010 und Prognose bis 2060, https://de.statista.com/statistik/daten/studie/543299/umfrage/entwicklung-und-prognose-der-altersstruktur-in-deutschland/, Stand: 30.6.2017.

[RR07] Renaud, K.; Ramsay, J.: Now what was that password again? A more flexible way of identifying and authenticating our seniors. In: Behaviour & Information Technology 26 (4), 2007, S. 309–322.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 331

Barrierefreie Webseiten für Blinde?

Petra Gröber[1]

Abstract: Aktuelle Paper über blinde Internetnutzer beschreiben die gleiche Probleme wie Paper, die vor zehn Jahren veröffentlicht wurden. Betrachtet man den Fortschritt in verschiedenen Bereichen der Informationstechnologie, ist dies sehr verwunderlich. Insbesondere, weil die beschriebenen Probleme in den Web Content Accessibility Guidelines 2.0 (WCAG 2.0) behandelt werden und technisch einfach zu beheben sind. Dieses Paper beschreibt typische Schwierigkeiten, auf die Blinde immer wieder stoßen, betrachtet verschiedene Ansätze der letzten Jahre wie die Nutzung von Webanwendungen für Blinde verbessert werden kann, hinterfragt diese und gibt einen Ausblick darüber, in welche Richtung die Forschung und Entwicklung zum Thema Barrierefreiheit im Internet gehen sollte.

Keywords: Barrierefreiheit; WCAG 2.0; Blinde Internetnutzer

1 Einführung

Die Bedeutung des Internets ist in den letzten Jahrzehnten erheblich gestiegen und ist als Informations- und Kommunikationsmedium ein wesentlicher Bestandteil unserer Gesellschaft geworden. Es vereinfacht viele Dinge des alltäglichen Lebens und ist gleichzeitig Voraussetzung für die Teilhabe an Bildung, Beruf und Freizeit.

Insbesondere für Menschen mit Behinderung hat das Internet eine hohe Bedeutung, da es ihnen Wege eröffnet, für sie schwer zugängliche Angebote leichter zu nutzen. Dazu zählen alltäglicher Dinge wie Einkaufen, Bankgeschäfte, Behördengänge, sowie das Buchen von Bahn- oder Flugtickets. Somit fördert das Internet die Selbstbestimmtheit und erhöht die Lebensqualität von Menschen mit Behinderungen [Be10]. Jedoch sind Webseiten sehr stark visuell geprägt, das bedeutet sie sind für visuell orientierte Menschen aufgebaut. Darum sind Blinde mit zahlreichen Barrieren konfrontiert, sodass, insbesondere nicht internetaffine blinde Nutzer, von solchen Angeboten ausgeschlossen werden.

Bereits vor mehr als 10 Jahren warnten Chiang et al. [Ch05], dass sich die digitale Spaltung vergrößern wird. Das schnelllebige Internet und seine Technologien werden den Bedarfen der Menschen mit Behinderungen nicht gerecht. Webseiten z.B. werden immer komplexer, indem so viel Information wie möglich auf nur eine Webseite gepackt wird. Für blinde Nutzer wird das Nutzen von Webseiten jedoch umso schwieriger, desto komplexer diese

[1] Universität Rostock, Institut für Informatik, Albert-Einstein-Straße 22, 18059 Rostock, Deutschland petra.groeber@uni-rostock.de

doi:10.18420/in2017_27

werden, weil aufgrund der Informationsfülle die Orientierung schwerer fällt. Einfache kleinere Webseiten dagegen weisen eine höhere Zugangsqualität auf [LGC10].

In den letzten zwei Dekaden gab es verschiedene Ansätze Webseiten für Blinde zugänglicher zu machen. Recherchiert man jedoch Literatur zum Thema Barrierefreiheit im Internet für Blinde, beschreiben aktuelle Veröffentlichungen gleichen Schwierigkeiten wie vor mehr als zehn Jahren. Das liegt im Wesentlichen daran, dass die Zielgruppe der blinden Nutzer im Vergleich zu den sehenden sehr klein ist und das wirtschaftliche Interesse entsprechend gering ist, dass es keine Bedarfsanalysen gibt und größtenteils ad hoc ohne Berücksichtigung der Barrierefreiheit implementiert wird. Um zu verstehen wie Blinde das Internet nutzen, gibt dieses Paper zunächst einen kurzen Einblick in die Web-Interaktion blinder Nutzer, geht dann auf die immer wieder auftretenden Barrieren ein, erläutert verschiedene Ansätze der letzten Jahre, das Internet für Blinde nutzbarer zu machen und weist schließlich auf die Folgen für die Forschung und Entwicklung hin.

2 Blinde Nutzer im Internet

In diesem Abschnitt wird zunächst darauf eingegangen wie Blinde das Internet nutzen und welche Hilfsmittel sie verwenden. Des Weiteren wird auf die Barrieren eingegangen, auf die Blinde bei der Nutzung von Webseiten stoßen.

2.1 Web-Interaktion blinder Nutzer

Blinde haben einen anderen Zugang zu Webseiten als sehende Nutzer. Sie nutzen den Screenreader und die Braille-Zeile als Hilfsmittel. Der Screenreader liest laut vor, was auf dem Bildschirm zu sehen ist. Der Inhalt einer Webseite wird sequentiell auditiv, ohne räumliche und grafische Informationen dargestellt. Dementsprechend ist die Darstellung einer Webseite für einen blinden Nutzer eindimensional, während ein sehender Nutzer diese zweidimensional wahrnimmt. Mit der Braille-Zeile werden bestimmte textuelle Bereiche der Webseite zeilenweise in Braille angezeigt. Blinde müssen folglich die Webseite, den Screenreader und ggf. die Braille-Zeile gleichzeitig nutzen. Das ist anstrengend und ermüdend [Be10].

Die Navigation unterscheidet sich aufgrund der eindimensionalen Darstellung einer Webseite ebenfalls. Während sehende Nutzer gezielt auf ein bestimmtes Element auf der Webseite klicken, um eine Aktion auszulösen, müssen Blinde mit Hilfe der Tab-Taste das entsprechende aktionsauslösende Element erst einmal finden. Der Screenreader bietet zwar verschiedene Funktionen für die Navigation, z.B. eine Navigation über Überschriften, Links oder Listen sowie eine Navigation über eine Suchfunktion, dennoch ist die Tastaturnavigation gegenüber der Mausnavigation stark eingeschränkt und zeitintensiv [RJY13].

Eine Alternative bildet die Interaktion mit Touchscreens, z.B. bei Smartphones und Tablets. Die Interaktion wird dabei in zwei Bereiche unterteilt: (1) Erkundung und (2) die konkrete

Absicht einer Eingabe oder Interaktion. Eine etablierte Methode ist das *explore by touch*, die in den gängigsten Betriebssystemen (Apple, Android, Windows) enthalten ist. Dabei werden beim Berührungskontakt Informationen abgerufen, d.h. beim Berühren des Touchscreens bekommt der Nutzer ein Feedback über das Element, das er gerade berührt. Einem blinden Nutzer ist es somit möglich den Bildschirm mit seinen Fingern zu erkunden. Eine weitere wichtige Funktionen für das Erkunden eines Bildschirms ist der *Accessibility Focus*, der es erlaubt Elementen zu fokussieren, auch wenn diese nicht fokussierbar sind. Somit können alle Elemente auf einer Webseite erkannt werden. Um eine Aktion letztendlich auszulösen, benötigt ein blinder Nutzer eine weitere Geste – die *Accessibility Action*. Das kann ein Doppeltipp irgendwo auf dem Bildschirm sein, um die Aktion des letzten fokussierten Elements auszulösen oder ein einfacher Tipp mit gleichzeitigem Festhalten des Elements, dessen Aktion ausgelöst werden soll [Bo13].

2.2 Barrieren im Web für blinde Nutzer

Blinde Nutzer stehen verschiedenen Schwierigkeiten gegenüber. Da das Internet ein stark visuelles Medium ist, sind Blinde die wohl am stärksten beeinträchtige Nutzergruppe. Das wird in der Studie von Berger et al. [Be10] bestätigt, in der Menschen mit verschiedenen Beeinträchtigungen zu ihrer Nutzung von Web 2.0 Anwendungen befragt wurden, wobei die Blinden die höchste Problemquote aufwiesen. Im Folgenden werden Probleme beschrieben, die in den letzten zehn Jahren wiederholt beschrieben werden. In Tabelle 1 sind diese Probleme und die entsprechende Literatur zusammengefasst.

Blinde Nutzer haben Schwierigkeiten mit der Orientierung auf Webseiten. Gründe dafür sind unter anderem: nicht genügend ausgezeichnete Formulare, sodass man nicht erkennt, was in die einzelnen Eingabefelder eingetragen werden soll, oft nur optisch durch eine farbige Markierung gekennzeichnetes Fehlerfeedback, sodass ein Screenreadernutzer dies nicht mitbekommt, nicht adäquat betitelt Buttons, und dass das Betätigen der Eingabetaste manchmal die Zeile umbricht und manchmal die Schalterfunktion ausführt.

Außerdem fehlen Alternativen zu Bildern und Videos in Form von alt-Texten, Textabschriften oder Audiobeschreibungen. Eine hohe Komplexität von Webseiten führt ebenfalls zu Orientierungs- und Navigationsschwierigkeiten. Eine hohe Anzahl Links führt zu einer langsam ladenden sehr langen Linkliste im Screenreader. Zudem wird die Navigation durch wenig aussagekräftige Bezeichnungen, wie z.B. *“klick hier...”* oder *“mehr”*, erschwert. Weitere Schwierigkeiten entstehen durch ausschließlich visuelle CAPTCHAs, die mit einem Screenreader nicht wahrnehmbar sind sowie die Verwendung von JavaScript und Flash, wodurch der Screenreader abstürzt oder verzögert reagiert.

3 Ansätze für die Verbesserung von Web Accessibility

Die verschiedenen Ansätze Webinhalte für Blinde barrierefrei zu gestalten, können in zwei Kategorien eingeteilt werden: (1) Spezielle Lösungen und (2) Gesetze und Richtlinien. Spezielle Lösungen sind software- oder hardwaregestützte Entwicklungen, die zusätzlich vom Nutzer installiert werden müssen. Richtlinien sind Empfehlungen für Webentwickler, um Barrierefreiheit zu gewährleisten. Ein weiterer Aspekt, der in diesem Abschnitt betrachtet wird, sind automatisierte Tools zur Überprüfung dieser Richtlinien. Diese sollen Webentwickler unterstützen, die Richtlinien richtig anzuwenden.

3.1 Spezielle Lösungen

Blinde nehmen Informationen hauptsächlich über ihren Hör-und Tastsinn auf. Daher verfolgen einige Ansätze das Vorhaben Webelemente mithilfe unterschiedlicher Klänge, sogenannter Hearcons, zu identifizieren und zu unterscheiden. Für eine zweidimensional Darstellung werden die Hearcons zusätzlich in einem auditiven Raum platzieren. Weitere Ansätze basieren auf einem haptischen Feedback oder auf eine Kombination aus Audio und Haptik.

Im Folgenden einige Beispiele für spezielle Lösungen, die unter anderem Hearcons verwenden:

- *AIRclient* (Auditiver Interaktionsraum Client): Eine im Rahmen des INVITE-Teilprojekt “Zugang zum Internet für Blinde” entwickelte auditive Benutzeroberfläche, wobei das Layout der Webseite mittels Raumklang dargestellt und Text über Text-To-Speech vorgelesen wird [KGG07, DKG02].
- *HearSay*: Ein unsichtbarer Webbrowser, der sich sowohl an sehende als auch blinde Nutzer richtet. Die Navigation auf Webseiten erfolgt mittels Sprachbefehl, Textbefehl oder über Tastaturkürzel [Bo07, Bo08, KMG14].
- *CSurf*: Ein kontextbezogener unsichtbarer Browser, der seine Wurzeln in HearSay hat und diesen um eine Kontextanalysemodul erweitert [MBR07]. Beim Klicken eines Links, durchsucht CSurf den Inhalt der folgenden Webseite nach relevanten Bereichen. CSurf beginnt dann bei diesen Bereichen die Webseite vorzulesen.
- *AB Web*: Ein audio-haptischer Browser, der Webelemente als Klänge in einem dreidimensionalen Raum abbildet. Der Nutzer interagiert über einen berührungsempfindlichen Bildschirm und hört über Kopfhörer oder Lautsprecher das entsprechende Klangfeedback. Ein bestimmter Klangcharakter übermittelt Informationen über die Art des Elements und die Position des Klangs im Raum, zeigt wo sich das Element befindet [Ro00].
- *FeelX haptic glove*: Ein weiterer sehr aktueller Ansatz ist eine spezielle Hardware in Form eines Handschuhs, der blinden Nutzern über haptisches Feedback eine

zweidimensionale Darstellung einer Webseite ermöglicht. Den FeelX haptic glove soll man mit jedem beliebigen Gerät (Computer, Tablet, Smartphone) verbinden können, um dann mit diesem Gerät zu interagieren, indem man den FeelX haptic glove über den Bildschirm bewegt [So15, So16].

Sowohl der AIRclient, der HearSay als auch der CSurf scheinen mit Ablauf der jeweiligen Projekte nicht weiterentwickelt worden zu sein. Für alle drei Produkte gibt es keine aktuellen Veröffentlichungen und auch die Software steht nicht zur Verfügung. Zudem ist die Webseite[2] des Projekts HearSay im Jahr 2009 das letzte mal aktualisiert worden. Ebenso sind über den AB Web Browser keine aktuellen Informationen zu finden.

Der Ansatz über haptisches Feedback eine Webseite für Blinde zweidimensional zugänglich zu machen ist vielversprechend. Mobile Endgeräte verfügen bereits über eine Vielzahl unterstützenden Anwendungen, die auf Audio und haptischem Feedback basieren. Dafür werden bereits eingebaute Sensoren sowie die Fähigkeit große Datensätze verarbeiten zu können ausgenutzt. Eine Übersicht zu diesen Entwicklungen geben Csapó et al. [Cs15]. Ob sich eine spezielle Hardware wie der FeelX haptic glove durchsetzen wird, bleibt abzuwarten. Die Idee der Barrierefreiheit im Internet geht vielmehr in die Richtung Standardanwendungen so zu gestalten, dass sie auch von Menschen mit Behinderungen genutzt werden können.

3.2 Gesetze und Richtlinien

In Deutschland regelt das *Allgemeine Gleichbehandlungsgesetz (AGG)*, dass niemand aufgrund von Rasse, Herkunft, Geschlecht, Religion oder Weltanschauung, Alter, sexueller Identität oder Behinderung benachteiligt werden darf. Das *Behindertengleichstellungsgesetz (BGG)* besagt, dass Menschen mit Behinderung eine möglichst gleichberechtigte Teilhabe am gesellschaftlichen Leben sowie eine möglichst selbstbestimmte Lebensführung ermöglicht werden soll. Als Ergänzung für das BGG gibt es die *Barrierefreie-Informationstechnik-Verordnung (BITV 2.0)*, die für alle Internetauftritte auf Bundesebene bewirken soll, dass der Zugang zu entsprechende Webangebote für Menschen mit Behinderungen ermöglicht bzw. erleichtert wird. Auf Länderebene gibt es eigene Regelungen und für private sowie kommerzielle Angebote sind die Vorschriften der BITV 2.0 nicht verpflichtend.

Die BITV 2.0 basiert auf den Web Content Accessibility Guidelines 2.0 (WCAG 2.0), die von der Web Accessibility Initiative (WAI) des World Wide Web Consortium (W3C) herausgegeben wurde. Das W3C gründete sich 1994, um einheitliche Standards für das World Wide Web (WWW) zu definieren. Innerhalb der W3C bildete sich die WAI, die das Ziel verfolgt, das WWW so vielen Menschen wie möglich zugänglich zu machen, insbesondere Menschen mit Behinderungen. Sie beschäftigt sich seit 1997 damit, wie Webinhalte barrierefrei gestalten werden können.

[2] http://www3.cs.stonybrook.edu/ sbhearsay/index.htm [last visit: May, 3rd 2017]

Die ersten Richtlinien für barrierefreie Webinhalte, die WCAG 1.0 wurden 1999 herausgeben. Durch die rasante Weiterentwicklung von Web-Technologien konnten die WCAG 1.0, die sich hauptsächlich auf HTML und CSS bezogen, den Anforderungen der Technologien nicht Stand halten. Darum wurde 2008 eine überarbeitete Version, die WCAG 2.0[3], verabschiedet. Diese sind bis heute gültig.

Die WCAG 2.0 ist als Baumstruktur mit vier Ebenen aufgebaut. Die erste Ebene bilden die vier Prinzipien *Wahrnehmbarkeit, Bedienbarkeit, Verständlichkeit und Robustheit*. Den Prinzipien sind insgesamt zwölf Richtlinien untergeordnet, die wiederum durch insgesamt 61 Erfolgskriterien erläutert sind. Die unterste Ebene beschreibt Techniken, wie die jeweiligen Erfolgskriterien umgesetzt werden können. Eine allgemeine technikneutrale Beschreibung der Erfolgskriterien macht diese zum einen unabhängig von bestimmen Technologien, zum anderen sind sie dadurch für Nicht-Fachleute einfacher zu verstehen. Um der Schnelllebigkeit der Technologien entgegenzutreten, sind die WCAG 2.0 so konzipiert, dass lediglich die letzte Ebene, die Techniken, regelmäßig an den neuesten Stand der Technik angepasst werden müssen. Die Erfolgskriterien sind zudem in drei Konformitätsstufen (A, AA, AAA) unterteilt. Die der Stufe A zugeordneten Erfolgskriterien sind die wichtigsten. Ist solch ein Kriterium nicht erfüllt, ist meistens mindestens eine Nutzergruppe benachteiligt. Die Konformitätsstufen A ist erreicht, wenn alle Erfolgskriterien dieser Stufe berücksichtigt wurden. Die Stufen AA und AAA enthalten weiterführende Anforderungen zur Barrierefreiheit. Für die Konformitätsstufen AA müssen die Erfolgskriterien der Stufen A und AA und für die Konformitätsstufe AAA müssen alle Kriterien erfüllt sein. Die Verantwortung für die Umsetzung der Richtlinien für eine entsprechende Technologie liegt beim Entwickler selbst.

Weitere Webstandards, die von der W3C seit 2014 empfohlen werden, sind die WAI ARIA[4] (Accessible Rich Internet Appilcations) und HTML5[5]. Die WAI ARIA ist eine technische Spezifikation, die entwickelt wurde, um Webseiten und Webanwendungen für Menschen mit Behinderungen zugänglicher zu gestalten. Es handelt sich dabei um eine semantische Erweiterung des HTML-Codes, wobei den HTML-Komponenten Informationen zu Rollen, Eigenschaften und Zuständen beigefügt werden. Mit HTML5 gibt es zum ersten Mal eine HTML-Version, die von sich aus Barrierefreiheit unterstützt, in dem es unter anderem eine bessere semantische Struktur erlaubt. Das bedeutet einzelne Bereiche der Webseite können gezielt ausgezeichnet werden (nav, article, section etc.), wodurch die Navigation verbessert wird.

3.3 Tools zur Überprüfung der Accessibility

Es gibt zahlreiche automatisierter Tools zur Bewertung der Web-Zugänglichkeit. Die W3C bietet eine Liste [6] solcher Tools, die nach Anforderungen gefiltert werden kann, z.B. nach

[3] https://www.w3.org/TR/WCAG20
[4] https://www.w3.org/TR/wai-aria-1.1/
[5] https://www.w3.org/TR/html51/
[6] https://www.w3.org/WAI/ER/tools/

unterschiedlichen Richtlinien, verschiedenen Technologien oder ob kostenpflichtig bzw. frei verfügbar.

Die Verwendung eines einzelnen Tools ist nicht ausreichend, um Zugänglichkeit zu gewährleisten. Zum einen sind die Fehlererkennungen unterschiedlich, das bedeutet ein Fehler, den das eine Tool erkennt, wird von einem anderen ignoriert. Eine Kombination verschiedener Tools erhöht zwar die Fehlererkennung [Ti16, VBC13], der Nutzungskomfort sinkt allerdings erheblich, wenn man beim Testen mehrere Tools gleichzeitig anwenden muss. Zum anderen sind immer manuelle Überprüfungen notwendig, da automatisierte Prüfungen nur auf formal-technischer Ebene (HTML-Code und CSS-Stylesheet) möglich sind [Ti16, VBC13, Sü15]. Aspekte wie alt-Texte bei Bildern, Audiobeschreibungen bei Videos oder die Eindeutigkeit von Link-Bezeichnern, sind nur durch eine menschliche Beurteilung überprüfbar.

3.4 Diskussion

Wie in Abschnitt 2.2 beschrieben, sind Blinde bei der Nutzung des Internets zahlreichen Barrieren ausgesetzt. Schaut man sich die Literatur dazu an, scheinen die Probleme seit Jahren ähnlich zu sein. In Tabelle 1 sind die angesprochenen Barrieren aufgelistet. Bei den Literaturreferenzen in der zweiten Spalte erkennen man, dass in aktuellen Veröffentlichungen die gleichen Probleme angesprochen werden wie vor ca. zehn Jahren. In der dritten Spalte sind die Richtlinien der WCAG 2.0 angegeben, die sich mit der entsprechenden Problematik beschäftigen. Es ist gut zu erkennen, dass alle aufgeführten Barrieren in den WCAG 2.0 verankert, und somit Lösungsansätze vorhanden sind.

Warum gibt es seit Jahren die gleichen Barrieren, obwohl sie technisch einfach umzusetzen sind? Power et al. [Po12] zeigen, dass die Erweiterung zu den WCAG 2.0 nicht zu einer Verringerung von Benutzerproblemen führt. Dafür geben sie folgende mögliche Erklärungen: (1) entweder die Benutzerprobleme sind nicht in den Richtlinien berücksichtigt, (2) die Benutzerprobleme sind zwar in den Richtlinien berücksichtigt, werden jedoch nicht implementiert. Das bedeutet, entweder die Webentwickler verstehen die Richtlinien nicht, es fehlen geeignete Testtools oder die Beschreibung eines Erfolgskriteriums ist nicht eindeutig genug, sodass nicht erkannt wird, dass ein bestimmtes Benutzerproblem damit angesprochen wird oder (3) die Benutzerprobleme sind in den Richtlinien berücksichtigt, werden implementiert, zeigen jedoch nicht den gewünschten Effekt. Das Benutzerproblem ist nicht gelöst. Insgesamt scheinen die WCAG 2.0 allein nicht die Lösung für Barrierefreiheit im Internet zu sein. Vielmehr muss sich das Bewusstsein für die Notwendigkeit von Barrierefreiheit bei Entwicklern erhöhen, sodass sie auf die WCAG 2.0 aufmerksam werden. Zudem sollten die Richtlinien verständlicher formuliert und den Entwicklern einfache Testtools zur Verfügung gestellt werden.

Webanwendungen werden für die breite Masse entwickelt, das sind Menschen ohne Behinderung. Das Menschen mit Behinderung ebenfalls das Internet nutzen und, dass

Barriere	**Literatur**	**WCAG Richtlinie**
nicht gelabelte Eingabefelder	[La07] [Mu08] [Bu09] [Be10] [Bu10] [Vo16] [LCP15]	1.3.1(A) 3.2.2(A) 3.3.2(A) 3.3.3(AA) 3.3.5(AAA)
nicht betitelte Buttons	[Be10]	1.3.3(A)
Feedback bei Eingabefehler nur farbig	[Be10]	1.4.1(A) 3.3.1(A)
Linkbezeichnungen nicht eindeutig	[La07] [Be10] [Bu10] [LCP15]	1.3.3(A) 1.4.1(A) 2.4.4(A)
CAPTCHAs nur visuell	[Be10] [RJY14]	1.1.1(A)
keine Alternativen bei Bildern und Videos (alt-Text bei Bildern, Textabschriften oder Audiobeschreibungen bei Videos)	[La07] [Mu08] [Bu09] [Be10] [LCP15] [Vo16]	1.1.1(A) 1.2.1(A) 1.2.3(A) 1.2.5(AA)
Orientierung (schwierige Navigation, hohe Komplexität, unübersichtliche Struktur)	[La07] [Bu09] [RJY13] [LCP15]	1.3.1(A) 1.3.2(A) 2.1.1(A) 2.1.2(A) 2.2.1(A) 2.2.2(A) 2.4.1(A) 2.4.2(A) 2.4.3(A) 2.4.4(A) 3.2.1(A) 3.2.2(A) 2.4.5(AA) 2.4.6(AA) 3.2.3(AA) 1.4.9(AAA) 2.1.3(AAA) 2.2.3(AAA) 2.2.4(AAA) 2.2.5(AAA) 2.4.9(AAA) 2.4.10(AAA)
Verwendung von JavaScript, Flash	[La07] [Mu08] [Be10]	4.1.2(A)

Tab. 1: In der linken Spalte sind die Barrieren, mit denen blinde Internetnutzer konfrontiert sind zusammengefasst, in der Mitte ist die entsprechende Literatur aufgelistet, die zeigt, dass diese Probleme bereits seit Jahren wiederholt beschrieben werden und die rechte Spalte enthält die Richtlinien der WCAG 2.0, die das Problem der ersten Spalte thematisiert.

die Technologie gerade für diese Menschen von großer Bedeutung ist, ist vielen Web-Entwicklern gar nicht bewusst. Außerdem denken Unternehmen oft, dass die Aufwand-Nutzen-Relation für die barrierefreie Gestaltung von Webanwendungen aufgrund der kleinen Nutzergruppe unverhältnismäßig ist. Unter Umständen denken sie sogar, dass durch die Richtlinien Nachteile für Nichtbehinderte entstehen. Dabei ist vielmehr das Gegenteil der Fall, mit Einhaltung der WCAG 2.0 sind Webseiten auch für Nichtbehinderte besser nutzbar [SSS16]. Würden Webseiten nicht ad-hoc erstellt werden, sondern nach Prinzipien der Softwareentwicklung, könnte Barrierefreiheit von Anfang an berücksichtigt werden. Doch meistens werden schnelle Lösungen angestrebt, die, wie am Beispiel von Facebook [GK16] untersucht wurde, zur Folge haben, dass der Quellcode unübersichtlich und überladen ist und Menschen mit Behinderungen Schwierigkeiten mit der Nutzung haben.

4 Ausblick

Moderne Technologien können die Webnutzung für Blinde vereinfachen. Die eindimensionalen auditiven Darstellung einer Webseite mit Hilfe eines Screenreader könnte mit einer Kombination aus Screenreader und Touchscreen zu einer zweidimensionalen auditiv-haptischen Darstellung verändert werden. Das dieser Ansatz Potential hat, zeigt eine Studie von Adepu und Adler [AA16], die belegt, dass Aufgaben, obwohl sie am Desktopcomputer besser zu erledigen waren, bevorzugt mit dem Smartphone erledigt wurden. In Zukunft werden Smartphones und Tablets noch leistungsfähiger werden, sodass weitere Untersuchungen notwendig sind, um zu zeigen wie die auditiv-haptische Darstellung weiter verbessert werden kann.

Die WCAG 2.0 sind sehr umfangreich, darum sind Tools zur Überprüfung der Richtlinien eine sehr gute Hilfestellung für Entwickler. Es stehen zahlreiche Tools zur Verfügung, jedoch wird aufgrund von Ungenauigkeiten empfohlen, mehrere Tools gleichzeitig zu verwenden [Ti16, VBC13]. Das ist kompliziert und unkomfortabel. Zudem kann nur auf formal-technischer Ebene automatisiert geprüft werden. Auf semantischer Ebene, beim Erkennen von Bildinhalten oder Linkbezeichnungen, sind menschliche Urteile notwendig. An dieser Stelle gibt es Forschungsbedarf, inwieweit Technologien der künstlichen Intelligenz, z.B. automatisierte Bild- oder Sprachverarbeitung, in solche Tools integriert werden können [Ti16]. Zudem ist es notwendig ein zuverlässiges Tool zur Verfügung zu stellen, das alle automatisiert überprüfbaren Erfolgskriterien zufriedenstellend testet.

Die WCAG 2.0 hat eine eher problemorientierte Herangehensweise, um den Barrieren entgegenzutreten. Das bedeutet identifizierte Benutzerprobleme werden jeweils mit Hilfe aktueller Technologien behoben. Webnutzung muss allerdings ganzheitlichen betrachtet werden. Barrierefreiheit (Accessibility) und Nutzbarkeit (Usability) müssen als Einheit betrachtet werden, denn viele Probleme hinsichtlich der Zugänglichkeit sind ebenfalls Probleme der Nutzerfreundlichkeit und anders herum [Ch13]. Ein Ansatz beides zu kombinieren, findet man bei Vigo et al. [VLP09]. Um Barrierefreiheit auf Webseiten zu erreichen, gilt es zunächst herauszufinden wie Menschen mit Behinderungen Webseiten

überhaupt nutzen. Anhand dieser Nutzerdaten können dann Gestaltungsprinzipien für Webseiten abgeleitet werden, sodass Webseiten sowohl für Menschen mit und ohne Behinderungen gut nutzbar sind [Po12]. Der Forschungsbedarf liegt hier eindeutig darin herauszufinden wie Blinde Webanwendungen nutzen. Dabei ist zwischen der Nutzung eines Computers und der Nutzung von mobilen Geräten zu unterscheiden, denn die Interaktion über eine Tastatur unterscheidet sich erheblich von der mit einem Touchscreen.

5 Fazit

Webseiten sind für Sehende entworfen, sodass blinde Nutzer unter Umständen ausgeschlossen werden oder zumindest großen Schwierigkeiten gegenüber stehen. Das Internet bietet jedoch gerade für Menschen mit Behinderungen enorme Vorteile. Insbesondere Blinde schätzen die Möglichkeit der eigenständigen Informationsbeschaffung und die Selbständigkeit, speziell im E-Commerce [Be10]. Doch Blinde sind seit Jahren mit den gleichen Barrieren konfrontiert, die im Grunde genommen technisch einfach zu lösen sind. Dieser Text gibt einen Überblick über die immer wieder auftretenden Barrieren, über verschiedenen Lösungsansätze und gibt einen Ausblick in welche Richtung geforscht und weiterentwickelt werden muss, um Barrierefreiheit im Internet zu erreichen.

Die vorgestellten Speziallösungen verfolgen den Ansatz den bei Blinden i.d.R. besser ausgeprägten Hör- und Tastsinn auszunutzen sowie die Webseiten auch für Blinde zweidimensional darzustellen. Durch die Zweidimensionalität bekommen Blinde einen besseren Überblick von der Webseite [AXW12]. Doch Speziallösungen haben ihre Nachteile. Sie müssen gesondert beschafft werden, extra installiert und speziell gewartet werden. Das sind, gegenüber der Nutzung von Standardsoftware, weitere Hürden die überwunden werden müssen. Zudem entstehen solche Speziallösungen meist im Rahmen wissenschaftlicher Projekte, bei denen sich die Mitarbeiter nach Ablauf der Projektlaufzeit meist anderen Aufgaben widmen und das Produkt meist nicht bis zur Marktreife entwickelt wird.

Die Richtlinien der WCAG 2.0 sind oft nicht ausreichend umgesetzt. Das kann am fehlenden Bewusstsein für die Notwendigkeit von Barrierefreiheit liegen oder wie Power et al. [Po12] vermuten, die Richtlinien werden nicht verstanden bzw. können nicht einem bestimmten Benutzerproblem zugeordnet werden. Gesetzliche Vorgaben und Verordnungen zur Barrierefreiheit basieren auf den WCAG 2.0, jedoch greifen diese nicht weit genug. Mit einer Ausweitung der Gesetze müssten sich Webentwickler mit diesem Thema intensiv auseinandersetzen. Zudem sollte Barrierefreiheit im Bereich Forschung und Entwicklung gefördert werden, um das Bewusstsein und das Verständnis dafür zu erhöhen [HAZB14]. Ebenso könnte man das Thema Barrierefreiheit verpflichtend in Ausbildung und Studium integrieren. Somit würde Entwickler ihr Bewusstsein für die Verschiedenartigkeit von Benutzern schärfen. Und mit diesem Bewusstsein würden bei der Entwicklung von Webanwendungen von Anfang an Aspekte der Barrierefreiheit berücksichtigt werden. Somit wäre das Argument, das der Aufwand gegenüber dem Nutzen zu groß sei ebenfalls ausgeräumt, denn beachtet man die Richtlinien von Anfang an, entsteht kaum Mehraufwand.

Insgesamt müssen Webentwickler hinsichtlich Barrierefreiheit besser geschult werden, Tools zur Unterstützung der Webentwicklung müssen einfach und komfortabel sein und es müssen Gestaltungsprinzipien formuliert werden, die Webanwendungen sowohl für Menschen mit und ohne Behinderungen einfach und effizient nutzbar machen.

Literaturverzeichnis

[AA16] Adepu, Sushma; Adler, Rachel F.: A comparison of performance and preference on mobile devices vs. desktop computers. In: 2016 IEEE 7th Annual Ubiquitous Computing, Electronics & Mobile Communication Conference (UEMCON). S. 1–7, 2016.

[AXW12] Abidin, A. H. Z.; Xie, Hong; Wong, Kok Wai: Blind users' mental model of web page using touch screen augmented with audio feedback. In: 2012 International Conference on Computer Information Science (ICCIS). Jgg. 2, S. 1046–1051, June 2012.

[Be10] Berger, Andrea; Caspers, Tomas; Croll, Jutta; Hofmann, Jörg; Kubicek, Herbert; Peter, Ulrike; Ruth-Janneck, Diana; Trump, Thilo: Web 2.0/Barrierefrei:Eine Studie zur Nutzung von Web2.0 Anwendungen durch Menschen mit Behinderungen. Aktion Mensch e.V. Bonn, 2010.

[Bo07] Borodin, Yevgen; Mahmud, Jalal; Ramakrishnan, I. V.; Stent, Amanda: The HearSay Non-visual Web Browser. In: Proceedings of the 2007 International Cross-disciplinary Conference on Web Accessibility (W4A). S. 128–129, 2007.

[Bo08] Borodin, Yevgen; Bigham, Jeffrey P.; Stent, Amanda; Ramakrishnan, I. V.: Towards One World Web with HearSay3. In: Proceedings of the 2008 International Cross-disciplinary Conference on Web Accessibility (W4A). W4A '08, ACM, New York, NY, USA, S. 130–131, 2008.

[Bo13] Bornschein, Jens; Prescher, Denise; Schmidt, Michael; Weber, Gerhard: Nicht-visuelle Interaktion auf berührempfindlichen Displays. In (Schlegel, Thomas, Hrsg.): Multi-Touch, Xpert.press, S. 319–338. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2013.

[Bu09] Buzzi, Maria Claudia; Buzzi, Marina; Leporini, Barbara; Akhter, Fahim: Usability and accessibility of ebay by screen reader. In: Symposium of the Austrian HCI and Usability Engineering Group. Springer, S. 500–510, 2009.

[Bu10] Buzzi, Maria Claudia; Buzzi, Marina; Leporini, Barbara; Akhter, Fahim: Is Facebook really "open" to all? In: Technology and Society (ISTAS), 2010 IEEE International Symposium on. IEEE, S. 327–336, 2010.

[Ch05] Chiang, Michael F.; Cole, Roy G.; Gupta, Suhit; Kaiser, Gail E.; Starren, Justin B.: Computer and World Wide Web Accessibility by Visually Disabled Patients: Problems and Solutions. Survey of Ophthalmology, 50(4):394–405, 2005.

[Ch13] Chi, Ed H.: The false dichotomy between accessibility and usability. In: Proceedings of the 10th International Cross-Disciplinary Conference on Web Accessibility. W4A '13, ACM, New York, NY, USA, S. 19:1–19:2, 2013.

[Cs15] Csapó, Ádám Balázs; Wersényi, György; Nagy, Hunor Zoltán; Tony, Stockman: A survey of assistive technologies and applications for blind users on mobile platforms: a review and foundation for research. Journal on Multimodal User Interfaces, 9(4):275–286, 2015.

[DKG02] Donker, Hilko; Klante, Palle; Gorny, Peter: The Design of Auditory User Interfaces for Blind Users. In: Proceedings of the Second Nordic Conference on Human-computer Interaction. NordiCHI '02, ACM, New York, NY, USA, S. 149–156, 2002.

[GK16] Gröber, Petra; Köster, Julia: An Analysis to Overcome Shortcomings to Improve the Accessibility for the Blind: A Case Study on Facebook's Homepage. In: Signal-Image Technology & Internet-Based Systems (SITIS), 2016 12th International Conference on. IEEE, S. 442–449, 2016.

[HAZB14] Henry, Shawn Lawton; Abou-Zahra, Shadi; Brewer, Judy: The Role of Accessibility in a Universal Web. In: Proceedings of the 11th Web for All Conference. W4A '14, ACM, New York, NY, USA, S. 17:1–17:4, 2014.

[KGG07] Klante, Palle; Gorny, Peter; Gründler, Michael: Interaktion in auditiven Informationsräumen. In (Ziegler, Jürgen; Beinhauer, Wolfgang, Hrsg.): Interaktion mit komplexen Informationsräumen: Visualisierung, Multimodalität, Kooperation, S. 57–73. Oldenbourg, München, 2007.

[KMG14] Kapoor, Sachin; Mittal, Kanika; Gupta, Adit: Hands Free Browser-'An Interactive Speech Browser for Visually Handicapped'. International Journal of Advanced Computer Research, 4(1):368, 2014.

[La07] Lazar, Jonathan; Allen, Aaron; Kleinman, Jason; Malarkey, Chris: What Frustrates Screen Reader Users on the Web: A Study of 100 Blind Users. International Journal of Human-Computer Interaction, 22(3):247–269, 2007.

[LCP15] Loureiro, Janaína Rolan; Cagnin, Maria Istela; Paiva, Débora Maria Barroso: Analysis of Web Accessibility in Social Networking Services Through Blind Users' Perspective and an Accessible Prototype. In (Gervasi, Osvaldo; Murgante, Beniamino; Misra, Sanjay; Gavrilova, Marina L.; Rocha, Ana Maria Alves Coutinho; Torre, Carmelo; Taniar, David; Apduhan, Bernady O., Hrsg.): Computational Science and Its Applications – ICCSA 2015, Jgg. 9159 in Lecture Notes in Computer Science, S. 117–131. Springer International Publishing, Cham, 2015.

[LGC10] Lopes, Rui; Gomes, Daniel; Carriço, Lu\'ıs: Web not for all: a large scale study of web accessibility. In: Proceedings of the 2010 International Cross Disciplinary Conference on Web Accessibility (W4A). W4A '10, ACM, New York, NY, USA, S. 10:1–10:4, 2010.

[MBR07] Mahmud, Jalal U.; Borodin, Yevgen; Ramakrishnan, I. V.: Csurf: A Context-driven Non-visual Web-browser. In: Proceedings of the 16th International Conference on World Wide Web. WWW '07, ACM, New York, NY, USA, S. 31–40, 2007.

[Mu08] Murphy, Emma; Kuber, Ravi; McAllister, Graham; Strain, Philip; Yu, Wai: An empirical investigation into the difficulties experienced by visually impaired Internet users. Universal Access in the Information Society, 7(1-2):79–91, 2008.

[Po12] Power, Christopher; Freire, André; Petrie, Helen; Swallow, David: Guidelines are only half of the story: accessibility problems encountered by blind users on the web. In: Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems. CHI '12, ACM, New York, NY, USA, S. 433–442, 2012.

[RJY13] Ramayah, Bavani; Jaafar, Azizah; Yatim, Noor Faezah: Visually Impaired User's Navigation Experiences in Facebook. In: Third International Visual Informatics Conference on Advances in Visual Informatics - Volume 8237. IVIC 2013, Springer-Verlag New York, Inc., New York, NY, USA, S. 788–796, 2013.

[RJY14] Ramayah, Bavani; Jaafar, Azizah; Yatim, Noor Faezah Mohd: The Web Navigation Barriers Facing by Blind Users in Social Networking Sites. Journal of Theoretical & Applied Information Technology, 61(2), 2014.

[Ro00] Roth, Patrick; Petrucci, Lori S.; Assimacopoulos, André; Pun, Thierry: Audio-Haptic Internet Browser and Associated Tools for Blind Users and Visually Impaired Computer Users. In (C. Germain; O. Lavialle; E. Grivel, Hrsg.): COST 254 Intelligent Terminals, Workshop on Friendly Exchanging Through the Net, S. 57–62. 2000.

[So15] Soviak, Andrii; Ashok, Vikas; Borodin, Yevgen; Puzis, Yury; Ramakrishnan, I. V.: Feel the Web: Towards the Design of Haptic Screen Interfaces for Accessible Web Browsing. In: Proceedings of the 17th International ACM SIGACCESS Conference on Computers & Accessibility. ASSETS '15, ACM, New York, NY, USA, S. 391–392, 2015.

[So16] Soviak, Andrii; Borodin, Anatoliy; Ashok, Vikas; Borodin, Yevgen; Puzis, Yury; Ramakrishnan, I. V.: Tactile Accessibility: Does Anyone Need a Haptic Glove? In: Proceedings of the 18th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility. ASSETS '16, ACM, New York, NY, USA, S. 101–109, 2016.

[SSS16] Schmutz, Sven; Sonderegger, Andreas; Sauer, Juergen: Implementing Recommendations From Web Accessibility Guidelines. Human Factors, 58(4):611–629, 2016.

[Sü15] Sünkler, Sebastian: Evaluierungstools für automatisierte Accessibility-Tests: Age of Access? Grundfragen der Informationsgesellschaft0. In (Kerkmann. Friederike und Lewandowski, Dirk, Hrsg.): Barrierefreie Informationssysteme: Zugänglichkeit für Menschen mit Behinderung in Theorie und Praxis, Jgg. 6. Walter de Gruyter GmbH & Co KG, 2015.

[Ti16] Timbi-Sisalima, C.; Martin Amor, C. I.; Otón Tortosa, S.; Hilera, J. R.; and Aguado-Delgado, J.: Comparative Analysis of Online Web Accessibility Evaluation Tools. In: Information Systems Development: Complexity in Information Systems Development (ISD2016 Proceedings). S. 562–573, 2016.

[VBC13] Vigo, Markel; Brown, Justin; Conway, Vivienne: Benchmarking Web Accessibility Evaluation Tools: Measuring the Harm of Sole Reliance on Automated Tests. In: Proceedings of the 10th International Cross-Disciplinary Conference on Web Accessibility. W4A '13, ACM, New York, NY, USA, 2013.

[VLP09] Vigo, Markel; Leporini, Barbara; Paternò, Fabio: Enriching Web Information Scent for Blind Users. In: Proceedings of the 11th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility. Assets '09, ACM, New York, NY, USA, S. 123–130, 2009.

[Vo16] Voykinska, Violeta; Azenkot, Shiri; Wu, Shaomei; Leshed, Gilly: How Blind People Interact with Visual Content on Social Networking Services. In: Proceedings of the 19th ACM Conference on Computer-Supported Cooperative Work & Social Computing. CSCW '16, ACM, New York, NY, USA, S. 1584–1595, 2016.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 345

Akzeptanz von assistiven Softwaresystemen für Menschen mit kognitiven Beeinträchtigungen – Sind die klassischen Ansätze aus der Technologie-Akzeptanzforschung für assistive Softwaresysteme geeignet?

Susanne Dirks[1] und Christian Bühler[2]

Abstract: Menschen mit kognitiven Beeinträchtigungen können, ebenso wie andere Menschen mit Unterstützungsbedarf, ihre gesellschaftlichen Teilhabemöglichkeiten und ihre Selbständigkeit durch den Einsatz von assistiven Softwaresystemen verbessern. Speziell für diese Nutzergruppe zeigt sich aber, dass die erfolgreiche und dauerhafte Anwendung assistiver Software in besonderer Weise von Faktoren abhängig ist, die in den klassischen Ansätzen der Technologie-Akzeptanzforschung nicht ausreichend berücksichtigt werden. Trotz ihrer Bedeutung für die nutzerzentrierte Softwareentwicklung und die Qualitätssicherung im Entwicklungsprozess können die vorhandenen Akzeptanzmodelle deshalb nicht für die Entwicklung assistiver Softwaresysteme genutzt werden. Im vorliegenden Beitrag werden die wichtigsten klassischen Ansätze der Technologie-Akzeptanzforschung vorgestellt und auf der Basis von Untersuchungen zur Akzeptanz von assistiven Technologien für Menschen mit kognitiven Beeinträchtigungen Vorschläge zur Erweiterung der bestehenden Ansätze gemacht. Unterstützt wird die Modell-Entwicklung durch die Ergebnisse der ersten Phase einer Akzeptanzstudie für die Nutzung der Mediata-App.

Keywords: Technologie-Akzeptanz, Evaluation assistiver Technologien, Barrierefreie Softwareentwicklung, Teilhabe, AT für Menschen mit kognitiven Beeinträchtigungen

1 Einleitung

Jedes Jahr erleiden in Deutschland etwa 400 Menschen pro 100.00 Einwohner eine Hirnverletzung, die zu mehr oder minder stark ausgeprägten kognitiven Beeinträchtigungen führt [DG17]. Die Hirnverletzung kann durch einen Unfall oder eine Erkrankung verursacht sein und führt je nach Größe und Lokalisation der Schädigung zu weitreichenden Beeinträchtigungen in der alltäglichen Lebensführung. Während die vorhandenen motorischen und sensorischen Beeinträchtigungen durch den Einsatz assistiver Technologien in der Regel gut kompensiert werden können, beeinflussen die kognitiven Beeinträchtigungen die Möglichkeiten zur Teilhabe und zur selbstbestimmten Lebensführung oft negativ. Menschen mit kognitiven Beeinträchtigungen nach einer erworbenen Hirnschädigung sind fast immer von Störungen der Gedächtnisfunktionen,

[1] TU Dortmund, Rehabilitationstechnologie, Emil-Figge-Straße 50, 40227 Dortmund, susanne.dirks@tu-dortmund.de
[2] TU Dortmund, Rehabilitationstechnologie, Emil-Figge-Straße 50, 40227 Dortmund, christian.buehler@tu-dortmund.de

doi:10.18420/in2017_28

der Aufmerksamkeit, der Handlungs- und der Affektsteuerung betroffen. Diese Beeinträchtigungen führen dazu, dass die Betroffenen in vielen Lebensbereichen auf die Unterstützung und Fürsorge von Familienangehörigen und Pflegepersonal angewiesen sind.

Die 2008 in Kraft getretene UN-Behindertenrechtskonvention sieht für alle Menschen eine uneingeschränkte Teilhabe am öffentlichen und politischen Leben und das Recht auf eine selbstbestimmte Lebensführung vor. Die Versorgung mit geeigneten Assistenzmitteln ist eine wichtige Maßnahme, um Menschen nach einer erworbenen Hirnschädigung eine möglichst uneingeschränkte Teilhabe am öffentlichen und politischen Leben zu ermöglichen. Im Rahmen des Rehabilitationsprozesses kommt der Hilfsmittelversorgung, zu der auch die bedarfsgerechte Versorgung mit assistiven Computertechnologien gehört, eine besondere Bedeutung zu. Die Hilfsmittelversorgung ist ein mehr oder weniger aufwändiger Versorgungsprozess. Nicht allein die Verordnung, Genehmigung und die technischen Eigenschaften des Hilfsmittels, sondern die Qualität des Versorgungsprozesses selbst tragen entscheidend dazu bei, ob die Hilfsmittelversorgung erfolgreich ist [DV06]. Abbildung 1 zeigt die wesentlichen Kriterien für eine erfolgreiche Hilfsmittelversorgung.

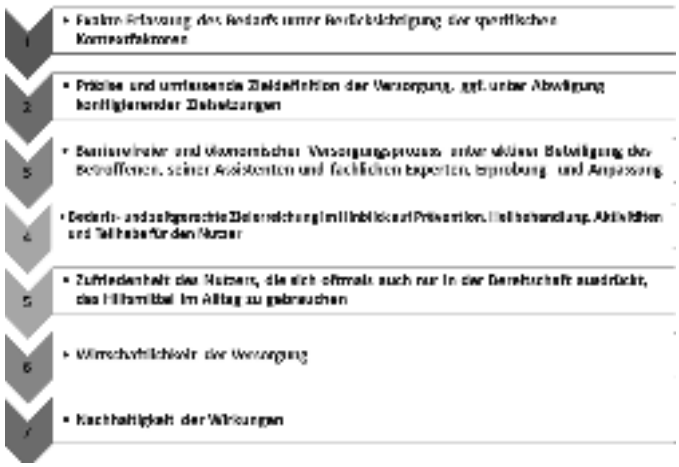


Abb. 1: Kriterien der Hilfsmittelversorgung

Auch wenn sich alle im Versorgungsprozess beteiligten Personen bemühen, diese Kriterien nach bestem Wissen einzuhalten, ist eine erfolgreiche Anwendung der verordneten Hilfsmittel noch lange nicht gegeben. Momentan gibt es weder eine koordinierte Vorgehensweise für die Erhebung des Anwendungserfolges eines Hilfsmittels noch eine Verpflichtung der am Versorgungsprozess beteiligten Instanzen, die Nutzbarkeit und die Auswirkungen der Anwendung eines Assistenzmittels nachzuhalten [DV06]. Berichte über die Unter-, Über- oder Fehlversorgung von Patienten mit Hilfsmitteln sind fester Bestandteil der in regelmäßigen Abständen veröffentlichten Heil- und Hilfsmittel-Reports der gesetzlichen Krankenkassen [Ba14].

Auch in wissenschaftlichen Untersuchungen werden die Akzeptanz, die tatsächliche Nutzung der Assistenzmittel und ihre Auswirkungen auf das Wohlbefinden der Nutzer nur selten untersucht. Insbesondere die Untersuchung der Akzeptanz von Assistenzmitteln zur Unterstützung von kognitiven Funktionen ist in wissenschaftlichen Untersuchungen bislang nur unzureichend berücksichtigt worden.

Neben der Versorgung von Hilfsmitteln zur Unterstützung bei der alltäglichen Lebensführung und bei der beruflichen Rehabilitation schließt eine teilhabeorientierte Hilfsmittelversorgung auch die Versorgung mit Hilfsmitteln ein, die der Teilhabe am Leben in der Gemeinschaft oder der Verbesserung der Lebensqualität oder des Komforts dienen [DV06]. Hilfsmittel zur Unterstützung bei der Kommunikation und der eigenständigen Nutzung von Internetangeboten und sozialen Netzwerken gehören, wenn sie nicht als Hilfsmittel zur beruflichen Rehabilitation verordnet werden, zu dieser Kategorie und spielen im Zuge der zunehmenden Bedeutung dieser Informationsquellen eine wichtige Rolle für die teilhabeorientierte Hilfsmittelversorgung.

Im Folgenden werden die wichtigsten Modelle aus dem Bereich der Akzeptanzforschung vorgestellt und ihre Anwendbarkeit auf die Akzeptanz von assistiven Technologien für Menschen mit kognitiven Beeinträchtigungen diskutiert. Auf der Basis der ersten Ergebnisse einer Nutzerakzeptanzstudie für eine App zur kognitiven Unterstützung bei der Nutzung von Web 2.0-Anwendungen wird ein Vorschlag für ein erweitertes Modell für die Akzeptanz von assistiven Technologien entwickelt.

2 Akzeptanzforschung

Die wissenschaftliche Untersuchung der Akzeptanz von technischen Systemen ist seit der Mitte der 80er Jahre ein wesentlicher Bestandteil der sozialwissenschaftlichen, ökonomischen und medienpolitischen Forschung [DK]. Unter Technikakzeptanz wird im Allgemeinen die „positive Annahme oder Übernahme einer Idee, eines Sachverhaltes oder eines Produktes umschrieben, und zwar im Sinne aktiver Bereitwilligkeit und nicht nur im Sinne reaktiver Duldung“ [De04] verstanden.

In den letzten 30 Jahren sind viele verschiedene Modelle entwickelt worden, mit deren Hilfe versucht wurde die subjekt-, objekt- und kontextbezogenen Faktoren, die die Technikakzeptanz beeinflussen, zu beschreiben und zueinander in Beziehung zu setzen. Im folgenden Abschnitt werden die einflussreichsten Modelle für die Akzeptanz von IT-Technologien vorgestellt, die sich für die Betrachtung der Akzeptanz von assistiven Softwaresystemen als relevant erwiesen haben.

2.1 TAM

Das Technologie-Akzeptanz-Modell (TAM) wurde in einer ersten Version von Davis [Da89] entwickelt und gilt vor allem in der internationalen Forschung als Initialmodell für

zahlreiche weitere Modelle zur Technologie-Akzeptanz. Davis beschreibt Akzeptanz als die tatsächliche Nutzung der jeweiligen Technologie durch seine (potenziellen) NutzerInnen auf der Basis des wahrgenommenen Nutzens (percieved usefulnes, PU) und der wahrgenommenen einfachen Benutzbarkeit (percieved ease of use, PEOU). Der wahrgenommene Nutzen bezieht sich dabei auf die Einschätzung eines Nutzers, inwieweit die Verwendung einer spezifischen IT-Anwendung die Erledigung der Arbeitsaufgaben innerhalb eines spezifischen organisatorischen (Akzeptanz-) Kontextes verbessert. Die wahrgenommene einfache Benutzbarkeit bezieht sich auf die Einschätzung, ob die Verwendung des IT-Systems ohne Aufwand zu erlernen ist. Im Modell von Davis ergibt sich aus dem Zusammenwirken dieser beiden Faktoren eine Intention des Nutzers die in Frage stehende Technologie zu verwenden (intention of use, BI). Diese Nutzungsintention kann dann zu einer tatsächlichen Nutzung der in Frage stehenden Technologie führen (actual use). Abbildung 2 veranschaulicht den Zusammenhang der relevanten Faktoren des TAM.

Im Rahmen verschiedener empirischer Studien konnte gezeigt werden, dass das die von Davis postulierten Faktoren ‚percieved usefulness' und ‚percieved ease of use' valide Indikatoren für die Akzeptanz und die tatsächliche Nutzung von technischen Systemen sind [Ve96], [AZ07].

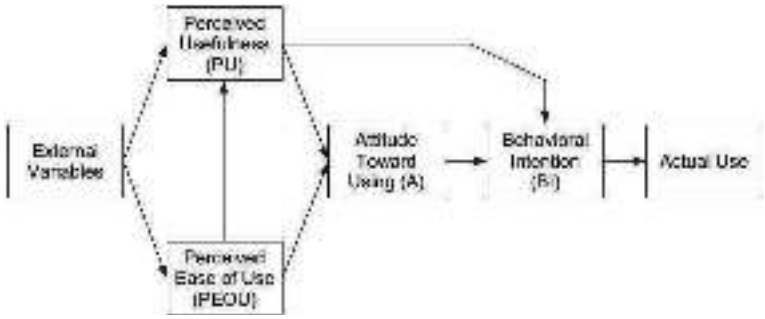


Abb. 2: TAM

Andere empirische Studien zeigten aber, dass die von Davis postulierten Faktoren nicht ausreichend sind, um die Akzeptanz und die daraus folgende Nutzung von technischen Systemen zu erklären. Im weiteren Forschungsverlauf wurde das ursprüngliche Technologie-Akzeptanz-Modell von Davis in zahlreichen Modifikationen erweitert. Insbesondere der Einfluss von externen Variablen, wie demografische Faktoren oder Persönlichkeitsmerkmale des potentiellen Nutzers, sowie der Einfluss subjektiver Normen auf die Akzeptanz technischer Systeme wurden in verschiedenen Modellentwürfen berücksichtigt, z.B. im erweiterten Technologie-Akzeptanz-Modell von Davis und Venkatesh [VD00]. In ihren Untersuchungen zur Veränderung der Akzeptanz von technischen Systemen über einen längeren Nutzungszeitraum stellten die Autoren fest, dass neben den bekannten Faktoren „percieved usefulness" und „percieved ease of use" auch soziale Einflüsse, wie die subjektive Norm, die Freiwilligkeit und das

Selbstbild, sowie kognitive Prozesse, wie die Bedeutung für den Beruf, die Ergebnisqualität und die Ergebnissichtbarkeit, die Akzeptanz technischer Systeme signifikant beeinflussen. In einer weiteren Überarbeitung des ursprünglichen Modells, dem TAM3 [Ve08], wurden weitere, eher intrinsische Faktoren, wie die Computer-Selbstwirksamkeit und die spielerische Computernutzung und extrinsische Faktoren, wie die objektive Nützlichkeit, und ihr Einfluss auf die Akzeptanz technischer Systeme berücksichtigt. Im mehreren Längsschnittuntersuchungen konnte die Anwendbarkeit des TAM3 nachgewiesen werden. Abbildung 3 zeigt eine Übersicht über die im TAM3 berücksichtigten Faktoren und ihre gegenseitigen Abhängigkeiten.

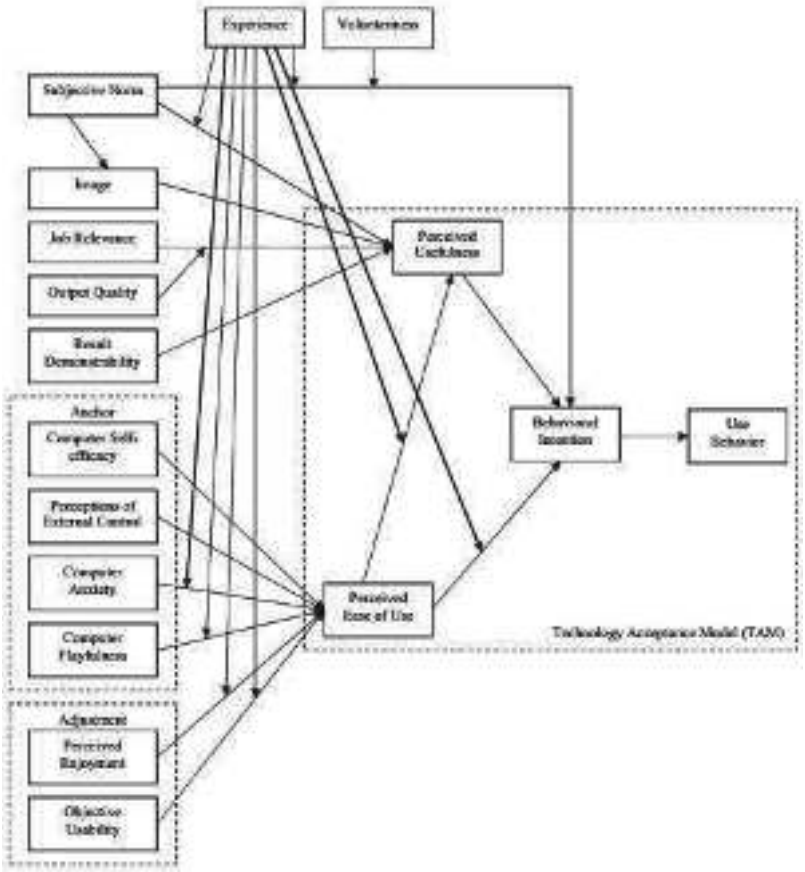


Abb. 3: TAM 3

2.2 UTAUT

Venkatesh, Morris, Davis und Davis entwickelten 2003 basierend auf einer umfassenden Literaturanalyse zur Akzeptanzforschung die Unified Theory of Acceptance and Use of Technology (UTAUT) [VMD03]. In den Grundannahmen ist das UTAUT-Modell eng an das TAM-Modell angelehnt, auch hier wird davon ausgegangen, dass der tatsächlichen Nutzung eine Nutzungsabsicht vorausgeht und diese durch bestimmte Faktoren positiv oder negativ beeinflusst werden kann. Als Ergebnis der Analyse und des empirischen Vergleichs von verschiedenen theoretischen Modellen für die Erklärung und Vorhersage des individuellen Nutzungsverhaltens haben die Autoren die vier folgenden Konstrukte als bestimmende Faktoren für die Nutzerakzeptanz herausgearbeitet: die Leistungserwartung (Performance Expectancy), die Aufwandserwartung (Effort Expectancy), den sozialen Einfluss (Social Influence) und die unterstützenden Bedingungen (Facilitating Conditions). Weitere Faktoren, wie das soziale Geschlecht (Gender), das Lebensalter (Age), die Nutzungserfahrung (Experience) sowie die Freiwilligkeit der Nutzung (Voluntariness of Use) moderieren den Einfluss der vier bestimmenden Faktoren. In verschiedenen empirischen Untersuchungen konnte gezeigt werden, dass die vier bestimmenden Faktoren einen signifikanten Einfluss auf die Absicht des Nutzers ein technisches Systeme zu nutzen, in unterschiedlichen Kontexten und für unterschiedliche Nutzergruppen haben. Darüber hinaus konnte ein positiver Einfluss der Verhaltensabsicht auf die tatsächliche Nutzung empirisch bestätigt werden [VMD03]. Abbildung 4 gibt einen Überblick über das UTAUT-Modell.

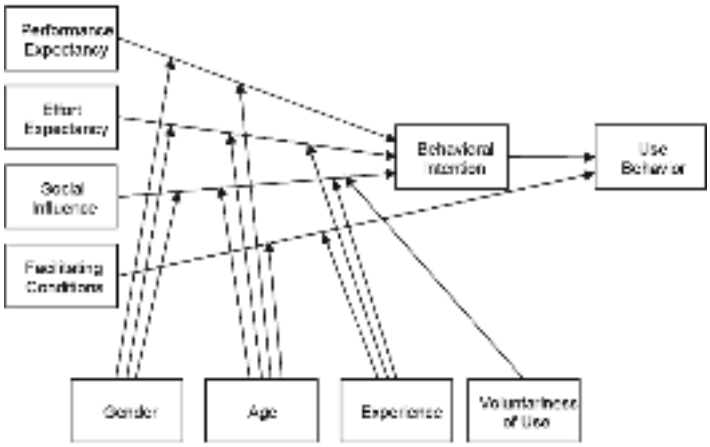


Abb. 4: UTAUT

2.3 Weitere Modelle

Parallel zur Entwicklung der in den vorangegangenen Abschnitten beschriebenen Technologie-Akzeptanz-Modelle hat sich die Nutzerzufriedenheitsforschung (User

Satisfaction Research) mit der Zufriedenheit der Nutzer von IT-Systemen beschäftigt. In der psychologischen Forschung wird die Nutzerzufriedenheit als eine wichtige Voraussetzung für die Performanz in Arbeits- und Alltagssituationen betrachtet. Als wichtige Determinanten für die Nutzerzufriedenheit wurden u.a. die Nützlichkeit, die Einfachheit der Nutzung, das Nutzungsergebnis, die Nutzungserwartungen, betriebliche Faktoren, die Servicequalität, die Systemqualität sowie die Informationsqualität untersucht [DM92].

Im Gegensatz zu den Technologie-Akzeptanz-Modellen, bei denen der Nutzer mit seinen Eigenschaften und die auf ihn wirkenden Umwelteinflüsse im Mittelpunkt steht, wird im Technology Task-Fit-Modell (TTF) die Art der zu lösenden Aufgabe und die Unterstützung, die der Nutzer durch die eingesetzte Technologie bei der Lösung erhält, in den Focus gerückt [Go98]. Je besser der Nutzer bei der Lösung der bestehenden Aufgaben technologisch unterstützt wird, desto eher wird das IT-System in der Praxis eingesetzt und trägt zu einer Verbesserung der Arbeitsleistung bei.

2.4 Grenzen der Modelle

Alle bisher vorgestellten Modelle und theoretischen Ansätze der Akzeptanzforschung sind in unterschiedlichem Ausmaß in vielen empirischen Untersuchungen untersucht worden. Die TAM-basierten Modelle bieten auf Grund ihrer großen Popularität und ihrer guten Anwendbarkeit eine viel genutzte theoretische Grundlage für empirische Untersuchungen zur Nutzerakzeptanz. Auch die anderen Ansätze konnten für bestimmte Einsatzbereiche und mit bestimmten Nutzergruppen validiert werden. Nichtsdestotrotz gibt es für einige Konstrukte durchaus widersprüchliche Ergebnisse. So ist z.B. der Einfluss der sozialen Norm auf die Nutzungsakzeptanz bzw. auf die Nutzungsintention stark von Faktoren wie Nutzungserfahrung, Geschlecht des Nutzers und Art der Aufgabe (Pflichtaufgabe oder freiwillige Aufgabe) abhängig [VMD03]. Der Einfluss der wahrgenommenen einfachen Benutzbarkeit, die ein zentrales Konstrukt der TAM-basierten Modelle darstellt, konnte in einigen empirischen Untersuchungen nur für bestimmte Nutzergruppen und Aufgabentypen nachgewiesen werden [GS97].

Eine weitere relevante Einschränkung für die Anwendbarkeit der vorgestellten Modelle für die allgemeine Akzeptanz von technischen Systemen liegt in der bislang vorherrschenden Begrenzung auf den Einsatz von IT-Systemen in Arbeitsprozessen. Obwohl es einige Untersuchungen zur Akzeptanz von eHealth- und Telemedizin-Systemen gibt, liegt zum gegenwärtigen Zeitpunkt nur eine, den Autoren bekannte, Publikation zur Akzeptanz von assistiven Technologien auf der Basis der beschriebenen Akzeptanzmodelle vor [KCM16].

3 Akzeptanz von assistiven Softwaresystemen

Ein Blick in aktuellen Hilfsmittelverzeichnisse zeigt, dass es grundsätzlich kein Mangel an technischen Hilfsmitteln für Menschen mit Beeinträchtigungen gibt. Trotzdem beklagen die Krankenkassen in ihren regelmäßig veröffentlichten Berichten über eine Über-, Unter- oder Mangelversorgung mit Hilfsmitteln und in internationalen Studien zur Hilfsmittelakzeptanz wird berichtet, dass ca. 30% der verordneten Hilfsmittel nicht oder nur unzureichend genutzt werden [Sc14]. Ein Grund für diese unbefriedigende Situation liegt in der trotz bester Bemühungen oft einseitigen Sicht auf die Bedürfnisse der Patienten. Die am Versorgungsprozess beteiligten Ärzte und Therapeuten verfügen über exzellentes Fachwissen, haben aber bei der Versorgungsentscheidung hauptsächlich die funktionalen Aspekte der Hilfsmittelverwendung im Blick. Die persönlichen Präferenzen der Nutzer, die psychosozialen Bedingungen und die zur Verfügung stehende Unterstützung spielen eine wichtige Rolle für die tatsächliche Verwendung eines Hilfsmittels, werden aber im Versorgungsprozess oft nicht genügend beachtet. Ein weiterer Grund für den hohen Anteil an nicht genutzten Hilfsmitteln liegt in der mangelnden Betreuung und Nachsorge der Nutzer. Der in der Einleitung beschriebene Versorgungsprozess sieht zwar eine Überprüfung der Nachhaltigkeit der Verordnungen vor, in der Realität wird dieser Schritt aber oft auf Grund von mangelnden zeitlichen und finanziellen Ressourcen verkürzt oder ausgelassen. Darüber hinaus sind derzeit weder Patienten noch Ärzte dazu verpflichtet, Informationen über den Versorgungserfolg an die Kostenträger zu übermitteln. Lediglich die Auslieferung eines funktionsfähigen Hilfsmittels muss bestätigt werden [Sc06]. Softwaresystemen als relevant erwiesen haben.

3.1 Matching Person and Technology Model

In der wissenschaftlichen Forschung gibt es nur wenige Ansätze, die sich mit der Akzeptanz und der nachhaltigen Verwendung assistiver Computertechnologien auseinander setzen. Das „Matching Person and Technology Model“ (MPT) von Scherer [Sc05] ist theoretisches Framework für den Verordnungsprozess und die Anwendung von assistiven Technologien, welches sich auch auf Softwaresysteme zur Unterstützung kognitiver Prozesse anwenden lässt. Das Framework besteht aus einem Set von personenzentrierten Maßnahmen, mit Hilfe derer die subjektiven Einschätzungen der Fähigkeiten, Bedürfnisse, Ziele, Erwartungen, Vorlieben und psychosozialen Eigenschaften der Nutzer erhoben werden. Eine gute Übereinstimmung zwischen Mensch und Technologie berücksichtigt das Zusammenspiel der Umgebungs-bedingungen, in den die Technologie eingesetzt wird, der Bedürfnisse und Vorlieben der potentiellen Nutzer und der Funktionen und Eigenschaften der assistiven Technologien [SG16]. Die vorgeschlagenen Maßnahmen basieren auf Untersuchungen der Autorin zu den Ursachen für das Nichtnutzen verordneter assistiver Technologien, in denen gezeigt werden konnte, dass diesem ein negatives Zusammenspiel von Umweltfaktoren, Nutzereigenschaften und Merkmalen der Technologie zugrunde liegt. Abbildung 5 gibt eine Übersicht über die wichtigsten Faktoren für die Nichtnutzung assistiver Technologien [SF15].

Der MPT-Assessment-Prozess ist in 6 Teilschritte unterteilt. Im ersten Schritt werden die Ziele der Hilfsmittelversorgung festgelegt und die Technologien, die für die Zielerreichung notwendig sind, festgehalten. In einen zweiten Schritt werden die assistiven Technologien erhoben, die in der Vergangenheit genutzt worden sind und die Zufriedenheit mit der Versorgung sowie die Hilfsmittel, die benötigt wurden aber aus diversen Gründen nicht genutzt werden konnten. In Schritt 3 wird der/die Nutzer gebeten ein Formular auszufüllen, in dem die persönlichen Erwartungen und Zielsetzungen beschrieben werden. Diese werden dann in einem 4.Schritt mit den Einschätzungen der Versorgungsexperten verglichen. Im 5.Schritt werden für die im Vergleich festgestellten Diskrepanzen und Probleme geeignete Interventionen und Lösungen erarbeitet und in Schritt 6 werden die erarbeiteten Lösungen schriftlich festgehalten. Das Ergebnisdokument kann dann als Rechtfertigung für weitere Interventionen und Kostenübernahmen verwendet werden.

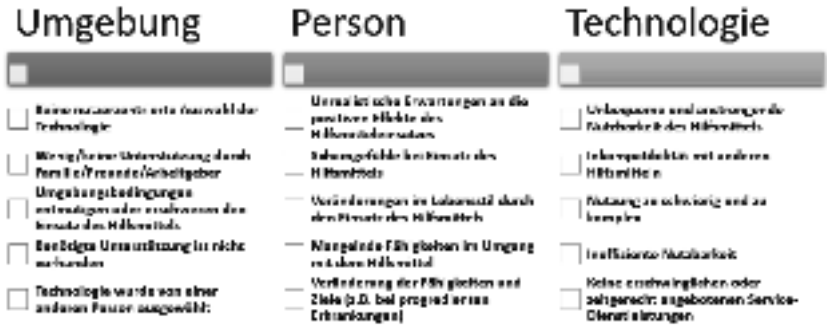


Abb. 5: Faktoren für die Nichtnutzung assistiver Technologien

3.2 Outcomes Research

In der klassischen ergebnisorientierten Auswertung wird die Effektivität einer neuen Technologie meist über die Bestimmung der Kosteneffektivität, also der Kosten-Nutzen-Bestimmung, erhoben. Für den Einsatz assistiver Technologien können die Ergebnisse (Outcomes) auf Grund der Komplexität der zugrunde liegenden Prozesse nicht auf diese einfache Weise erhoben werden. Die Wirksamkeit einer assistiven Technologie hängt nicht nur von den Eigenschaften des Nutzers sondern auch von den Einsatzbedingungen sowie von den Eigenschaften des Hilfsmittels ab. Der erfolgreiche Einsatz eines assistiven Hilfsmittels hat einen großen Einfluss auf das persönliche Wohlbefinden, die Teilhabemöglichkeiten, die soziale Integration und die beruflichen Chancen des Nutzers. Da assistive Technologien selten isoliert eingesetzt werden, spielt auch die Kombinationsmöglichkeit mit anderen Hilfsmitteln eine wichtige Rolle für den erfolgreichen Einsatz einer assistiven Technologie [GD02]. Obwohl es im Bereich der Outcomes Research für den Einsatz assistiver Technologien bislang kein allgemeingültiges Modell oder Untersuchungsinstrument gibt, sind die theoretischen Überle-

gungen, Diskussionen und Standardisierungsbemühungen in diesem Forschungs-bereich hochrelevant für die Erforschung der Akzeptanzfaktoren für den Einsatz assistiver Technologien.

3.3 Empirische Untersuchungen zur Akzeptanz assistiver Technologien

Basierend auf den theoretischen Modellen der Akzeptanzforschung sind diverse empirische Untersuchungen zur Akzeptanz assistiver Technologien mit unterschiedlichen Nutzergruppen und für verschiedene Einsatzbereiche durchgeführt worden, z.B. für Nutzer mit kognitiven Beeinträchtigungen, mit Multipler Sklerose, für Studierende mit häufig auftretenden Beeinträchtigungen, Nutzer mit traumatischen Hirnschädigungen und dementiellen Erkrankungen [ALJ15], [SWN16], [Po14], [WTM16], [ZM14]. In den genannten Studien konnte gezeigt werden, dass für die untersuchten Nutzergruppen und Nutzungsbereiche ähnliche Faktoren für die Akzeptanz und die Nutzung assistiver Technologien relevant sind. Je mehr die individuellen Bedürfnisse und Lebensbedingungen der potentiellen Nutzer in die Versorgungsplanung einbezogen werden, je besser die individuelle Beratung im Versorgungsprozess ist und je besser die Nutzer während der Nutzung unterstützt und beraten werden, desto größer ist die Akzeptanz, die Nutzungsbereitschaft und die tatsächliche Nutzung des Hilfsmittels. Insbesondere für komplexe Hilfsmittel, z.B. für Software zur Unterstützung kognitiver Funktionen, stellt die mangelhafte Einweisung und Ausbildung in der Nutzung des Hilfsmittels eine wesentliche Barriere für die erfolgreiche Nutzung dar. Oft scheitert das Training nicht nur an zeitlichen und finanziellen Ressourcen, sondern auch an der mangelnden technischen Kompetenz der am Versorgungsprozess beteiligten Experten [WDT16.]

Im Rahmen der von den Autoren betriebenen Entwicklung einer App zur Unterstützung von Menschen mit kognitiven Beeinträchtigungen bei der selbständigen Nutzung von Internetangeboten und sozialen Netzwerken ist die Durchführung einer Akzeptanzstudie geplant [BDN16]. Ziel dieser Studie ist die Bestimmung der Faktoren, die die Akzeptanz und die Nutzungsbereitschaft von assistiven Softwaresystemen für die Mediennutzung für Nutzer mit kognitiven Beeinträchtigungen positiv beeinflussen. Die entwickelte App unterstützt Menschen mit einer kognitiven Beeinträchtigung durch eine einheitliche Interface-Gestaltung, einen Single-Sign-On-Ansatz, die Unterstützung verschiedener Eingabemodalitäten, die direkte Verknüpfung von vielgenutzten Apps und ein konfigurierbares Nutzerprofil bei der eigenständigen Nutzung von Internetangeboten und sozialen Medien. Abbildung 6 zeigt einen beispielhaften Überblick über die verschiedenen Login-Möglichkeiten in der App.

Der Funktionsumfang und die Gestaltung der Nutzerschnittstelle wurden im Rahmen einer nutzerzentrierten Anforderungsanalyse in intensiver Zusammenarbeit mit einer Gruppe von Nutzer mit kognitiven Beeinträchtigungen festgelegt. Auf diese Weise konnte sichergestellt werden, dass ein auf die Bedürfnisse der potentiellen Nutzer abgestimmtes Assistenzmittel entwickelt wird.



Abb. 6: Login-Varianten der Mediata-App

Neben einer Bewertung der Funktionen der App werden im Evaluationsprozess mit Hilfe eines Akzeptanzfragebogens die tatsächliche Nutzbarkeit und die daraus resultierende Akzeptanz erhoben. Die Items des Akzeptanzfragebogens sind an die Struktur des mehrfach evaluierten „Matching Person and Technology Assessment“ – Formulars angepasst und nach den Regeln der Leichten Sprache formuliert. Neben den allgemeinen Informationen zur Person, den vorliegenden Beeinträchtigungen und der persönlichen Zufriedenheit in verschiedenen Lebensbereichen werden konkrete Fragen zur Zufriedenheit mit dem Einsatz der App gestellt, die auf Basis einer 5-stufigen Likert-Skala von den Nutzern beantwortet werden. Zur Kontrolle des Nutzungsverlaufes wird die Zufriedenheit mit dem Einsatz der App über einen längeren Zeitraum wiederholt überprüft. Abbildung 7 zeigt einen Ausschnitt aus dem geplanten Fragebogen.



Abb. 7: Fragebogen zur Nutzungsakzeptanz

Zusätzlich zu den Fragebogenerhebungen werden leitfadengeleite Interviews durchführt, in denen weitere Informationen, insbesondere zu den als problematisch angegebenen

Bereichen, gesammelt werden.

3.4 Ein Vorschlag zur Entwicklung eines Akzeptanzmodells für assistive Softwaresysteme

Die Autoren gehen davon aus, dass die im Rahmen der allgemeinen Akzeptanzforschung etablierten Modelle auf Basis der Ergebnisse der eigenen Evaluationsstudie in Ergänzung zu den bereits vorhandenen empirischen Untersuchungen so erweitert werden können, dass sie auch für den Bereich der Akzeptanz von assistiver Softwaresystemen eingesetzt werden können. Es wird erwartet, dass insbesondere personelle und umweltbezogene Faktoren, wie z.B. die individuelle Technikaffinität, die persönliche Bedeutung von Selbständigkeit und das Selbstbewusstsein, die Unterstützungs-bereitschaft des Umfeldes sowie das Vorhandensein materieller Ressourcen, eine wichtige Rolle bei der Akzeptanz assistiver Technologien spielen. In Abbildung 8 sind die Faktoren des TAM3-Modells markiert, die für den hier betrachteten Anwendungsbereich besonders relevant sind.

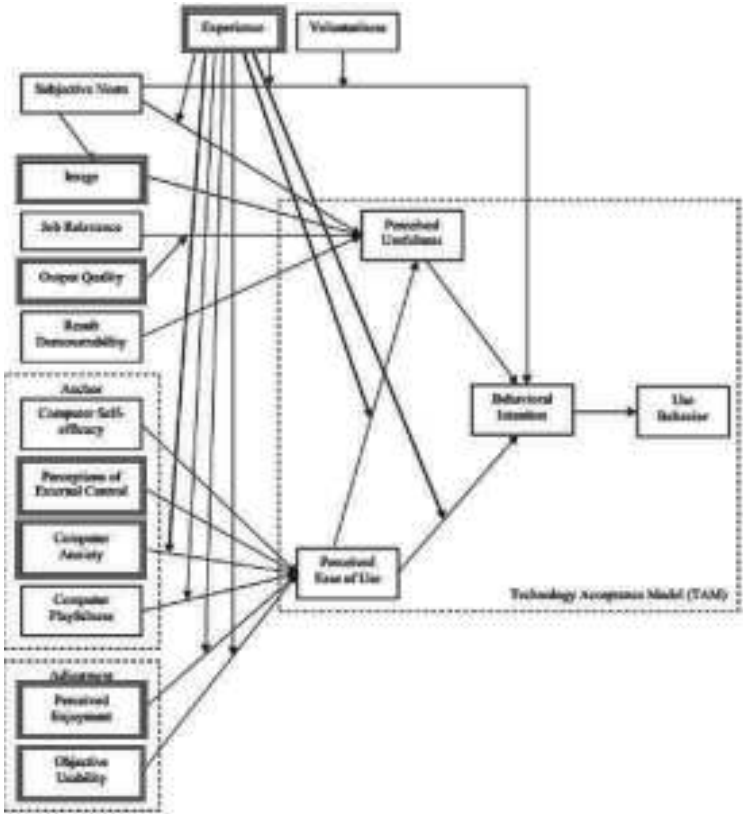


Abb. 8: TAM3-Modell mit den für die Akzeptanz assistiver Technologien relevanten Faktoren

Da die zu erhebenden Daten Grundlage für die Modellbildung sind, kann eine endgültige Modellentwicklung erst nach Abschluss der Datenerhebung stattfinden. Die erste Phase der Datenerhebung wird im Frühsommer 2017 stattfinden, so dass im Herbst 2017 eine erste Version eines erweiterten Technologie-Akzeptanz-Modells für assistive Technologien vorgestellt werden kann.

4 Fazit

Obwohl es in der allgemeinen Akzeptanzforschung überzeugende und empirisch gut geprüfte Modelle für die Akzeptanz technischer Systeme gibt, sind im Bereich der Akzeptanz von assistiven Softwaresystemen bislang nur wenige Untersuchungen durchführt worden. Insbesondere für die nutzerzentrierte und partizipative Softwareentwicklung spielen geeignete Akzeptanzmodelle eine wichtige Rolle. Im vorliegenden Beitrag wurden die wichtigsten Modelle der Akzeptanzforschung vorgestellt und die Ursachen für die Nichtnutzung von technischen Hilfsmitteln diskutiert. Auf der Basis der Ergebnisse einer eigenen Akzeptanzstudie und vorhandener empirischer Studien wird ein Vorschlag für ein Modell für die Akzeptanz assistiver Softwaresysteme entwickelt, in dem insbesondere die persönlichen und umweltbezogenen Faktoren stärker als in den klassischen Modellen berücksichtigt werden.

Literaturverzeichnis

[ALJ15] Adolfsson, P.; Lindsedt, H.; Janeslätt, G.: How Persons with Cognitive Disabilities Experience Electronic Planning Devices. NeuroRehablitation, 37(3), 379-392, 2015.

[AZ07] Arning, K,; Ziefle, M.: Understanding age differences in PDA acceptance and performance. Computers in Human Behaviour, 23(6), 2904-2027, 2007.

[Ba14] Barmer GEK Heil- und Hilfsmittel-Report 2014, https://www.barmer.de/presse/infothek/studien-und-reports/heil-und-hilfsmittelreport/report-2014-38588, Stand: 11.04.2017

[BDN16] Bühler, C.; Dirks, S.; Nietzio, A.: Easy Access to Social Media: Introducing the Mediata-App, International Conference on Computers Helping People with Special Needs, 227-233, 2016.

[Da89] Davis, F.: Perceived Usefulness, Perceived Ease Of Use, And User Acceptance. MIS Quarterly; 13, 3; pg. 319, 1989.

[De04] Dethloff, C.: Akzeptanz und Nicht-Akzeptanz von technischen Produktinnovationen. Lengerich: Pabst, 2004.

[DG17] Deutsche Gesellschaft für Neurochirurgie, http://www.dgnc.de/dgnc-homepage/patienteninformationen/schaedel-hirnverletzungen.html, Stand: 20.04.2017

[DK13] Schäfer, M.; Keppler, D.: Modelle der technikorientierten Akzeptanzforschung. Überblick und Reflexion am Beispiel eines Forschungsprojekts zur Implementierung innovativer technischer Energieeffizienz-Maßnahmen. Technische Universität Berlin, 2013.

[DM92] DeLone, W.H.; McLean, E.R.: Information systems success: the quest for the dependent variable. Information Systems Research, 3(1), pp. 60-95, 1992.

[DV06] Für eine optimierte Versorgung mit Hilfsmitteln - Expertise Hilfsmittelversorgung der DVfRhttp://www.dvfr.de/arbeitsschwerpunkte/stellungnahmen-der-dvfr/detail/artikel/fuer-eine-optimierte-versorgung-mit-hilfsmitteln-expertise-der-dvfr/, Stand: 11.04.2017

[GD02] Gelderblom, G.J.; De Witte, L.P.: The Assessment of Assistive Technology Outcomes, Effects and Costs. Technology and Disability, 14, 91-94, 2002.

[Go98] Goodhue, D.L.: Development and measurement validity of a task-technology fit instrument for user evaluations of information systems. Decision Sciences. 29(1) 105-138, 1998.

[GS97] Gefen, D.; Straub, D.W.: The relative importance of perceived ease of use in IS adoption: A study of ecommerce adoption. MIS quarterly, 21(4), 389-400, 1997.

[KCM16] Kaleshtari M. H;, Ciobanu I, Seiciu P. L.; Marin A. G.; Berteanu M.: Towards a Model of Rehabilitation Technology Acceptance and Usability, Int. J. Social Science and Humanity, 6(8), pp. 612-616, 2016.

[Po14] Poudel, B.P.: Acceptance and use of assistive technology: perspective of high school and college students with high incidence disabilities. University of Deleware, School of Education, 2014. http://udspace.udel.edu/handle-/19716/16818, Stand: 20.04.2017

[Sc05] Scherer, M.J.: Assessing the benefits of using assistive technologies and other supports for thinking, remembering and learning. Disability and rehabilitation, 27(13), 731-739, 2005.

[Sc06] Schmidt-Ohlemann, M. et al.: Für eine optimierte Versorgung mit Hilfsmitteln. DfVR Bericht, Heidelberg, 2006.

[Sc14] Scherer, M.J.: From people-centered to person-centered services, and back again. Disability and Rehabilitation: Assistive Technology, 9(1), 1–2, 2014.

[SC16] Scherer, M.J.; Craddock, G.: Matching Person and Technology assessment process. Technology and Disability 14, 125-131, IOS Press, 2016.

[SF15] Scherer, M.J.; Federici, S.: Why people use and don't use technologies. … NeuroRehabilitation 37, 315-319, 2015.

[SWN16] Squires, L.A.; Williams, N.; Morrison, V.L.: Matching and accepting assistive technology in multiple sclerosis: A focus group study with people with multiple sclerosis, carers and occupational therapists. Journal of Health Psychology, 2016.

[Ve96] Venkatesh, V.; Davis, F.D.: A model of the antecedents of perceived ease of use: Development and test. Decision Sciences, 27, 451–481, 1996.

[VB08] Venkatesh, V.; Bala, H.: Technology Acceptance Model 3 and a Research Agenda on

Interventions. Decision Science, 39 (2), 273-312, 2008.

[VD00] Venkatesh, V.; Davis, F.D.: A theoretical extension of the technology acceptance model: Four longitudinal filed studies. Management Science, 46, 186–204, 2000.

[VMD03] Venkatesh, V.; Morris, M.G.; Davis, G.B.; Davis, F.D.: User Acceptance of Information Technology: Toward a Unified View. MIS Quarterly, 27(3), 2003.

[WDT16] Wang, J.; Ding, D.; Teodorski, E.; Mahajan H.P.; Cooper, R.: Use of assistive technology for cognition among people with traumatic brain injury: a survey study. Military Medicine, 2016.

[ZM14] Zhang, S.; McLean, S.I.; et al.: A Predictive Model for Assistive Technology Adoption for People with Dementia. IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics, 18(1), 375-383, 2014.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 361

Ein Pilotprojekt zur multimedialen Unterstützung von Menschen mit kognitiven Beeinträchtigungen am Arbeitsplatz

Christian Bühler [1] und Miriam Padberg[2]

Abstract: Durch das Fehlen geeigneter Softwarelösungen werden mobile Endgeräte als Unterstützungsmedium im Berufsleben von Menschen mit insbesondere kognitiven Behinderungen kaum eingesetzt. Um die Eigenständigkeit und das Potential schwerbehinderter Menschen im Beruf zu fördern wurde ein Prototyp einer mobilen Applikation zur multimedialen Darstellung von Arbeitsvorgängen mit einer an den Nutzer anpassbaren Bedienoberfläche entwickelt und evaluiert.

Keywords: Jobcoaching; mobile Unterstützung

1 Ausgangssituation

Für Menschen mit Behinderungen, insbesondere Menschen mit kognitiven Beeinträchtigungen, stellt die Bewältigung der beruflichen Anforderungen im Hinblick auf eine schnelle und fehlerfreie Bearbeitung der gestellten Aufgaben oft vor großen Schwierigkeiten. Im Bereich der Kompetenzentwicklung im Rahmen der Leistungen zur Teilhabe schwerbehinderter Menschen im Beruf gemäß SGB IX §33 stellt das betriebliche Arbeitstraining (Jobcoaching) eine seit vielen Jahren praktizierte Maßnahme dar, bei dem die Arbeitsabläufe zusammen mit dem Arbeitgeber und einem begleitenden Trainer an die behinderungsbedingten Herausforderungen des schwerbehinderten Arbeitnehmers angepasst werden [BI07]. Diese Maßnahmen haben das Ziel, schwerbehinderten Menschen zu wirtschaftlicher Selbstständigkeit sowie zur Erhaltung und Erweiterung der beruflichen Kenntnisse und Fertigkeiten zu verhelfen [LW]. Im Team werden hierbei Hilfestellungen entwickelt, die den Arbeitnehmer zur Ausübung seiner Arbeit befähigen, ihn bei der Durchführung von Arbeiten unterstützen oder für weitere Arbeiten qualifizieren sollen [Hö].
Neben dem zeitlich begrenzten Jobcoaching sehen die besonderen Regelungen für junge Menschen mit Behinderung im Rahmen der durch die Bundesagentur für Arbeit unterstützten berufsorientierenden und berufsvorbereitenden Maßnahmen eine kontinuierliche persönliche Begleitung in Form einer Bildungsbegleitung vor. Diese persönliche Begleitung

[1] Technische Universität Dortmund, Fakultät Rehabilitiationswissenschaften, Lehrgebiet Rehabilitationstechnologie, Emil-Figge-Stra. 50, 44227 Dortmund, Deutschland christian.buehler@tu-dortmund.de
[2] Technische Universität Dortmund, Fakultät Rehabilitationswissenschaften, Lehrgebiet Rehabilitationstechnologie, Emil-Figge-Str. 50, 44227 Dortmund, Deutschland miriam.padberg@tu-dortmund.de

doi:10.18420/in2017_29

soll Sicherheit und Struktur bieten und den Auszubildenden dabei unterstützen die berufsrelevanten Fähigkeiten zu erwerben. Als Hilfsmittel für die Umsetzung der Ziele wird der Einsatz von technischen Hilfsmitteln zur Arbeitsunterstützung explizit erwähnt, insbesondere wird auch der Einsatz dieser Hilfsmittel während der Maßnahme herausgestellt [Ag12].
Auch heute noch sind Merkhefte, Diktiergeräte und Beschreibungen von Arbeitsvorgängen mit Hilfe von Piktogrammen oder in einfacher Sprache die am weitesten verbreiteten Hilfsmittel im Jobcoaching [Sä08]. Obwohl mehr als 75% der deutschen Bevölkerung Smartphones nutzen und mehr als 88% der Smartphone-Nutzer zwischen 14 und 64 Jahren und damit im erwerbsfähigen Alter sind ([St16a], [St16b]), spielt der Einsatz von Smartphones im betrieblichen Arbeitstraining bislang keine Rolle.

In der Rehabilitation von Menschen mit erworbener Hirnschädigung werden assistive Technologien auf Basis des Aufgaben-Scheduling seit Jahren erfolgreich eingesetzt. Menschen mit erworbener Hirnschädigung erlangen so computergestützt ihre Selbstständigkeit in der Ausführung von Aktivitäten des täglichen Lebens wieder [Co13]. Basierend auf dieser Idee entstand das Pilot-Projekt EJO. In Kooperation mit dem Landschaftsverband Rheinland (LVR) wurde im Rahmen einer an der TU Dortmund durchgeführten Vorstudie der Bedarf für eine Applikation für mobile Endgeräte zur multimedialen Darstellung (Bild, Schrift, Video, Audio) von Arbeitsabläufen bei Integrationsfirmen, Jobcoaches und Menschen mit Beeinträchtigungen auf dem ersten Arbeitsmarkt ermittelt.

2 Das Projekt EJO

Erfolgreiche computergestützte Rehabilititation von Menschen mit erworbener Hirnschädigung basiert unter anderem auf dem User-Centered-Design-Ansatz, bei dem die technische Unterstützungsmaßnahmen an die Ressourcen und das Wissen der betroffenen Personen angepasst wird ([Co11]). Auf Basis dieses Ansatzes wurde die Prototyp-Applikation EJO entwickelt.Ein Kernelement dieser Applikation ist die multimediale Darstellung von Arbeitsvorgängen durch

- Graphiken, z.B. Explosionszeichnungen und Schaltpläne,
- Videos, z.B. Anleitungsvideos zur Bedienung von Maschinen,
- Text, z.B. Checklisten, Bedienungsanleitungen,
- Audio, z.B. wichtige Sicherheitsinformationen

mit einer an die individuellen Bedürfnisse des Nutzers anpassbarer Benutzeroberfläche. Grundlegende Konzepte und Anforderungen an die Barrierefreiheit wie

- Wahrnehmbarkeit

- Bedienbarkeit
- Robustheit
- Verständlichkeit

gemäß WCAG ([Wo08]) und der BITV 2.0 ([Bu11]) ebenso wie Developer-Guidelines von Google and Apple wurden bei der Entwicklung der Prototyp-Applikation berücksichtigt.

2.1 Software-Architektur und verwendete Technologie

Die EJO-Applikation basiert auf einem Client-Server-Modell, wie es in Abbildung 1 dargestellt wird. Der Nutzer des Gerätes nutzt ein mobiles Endgerät (Smartphone / Tablet) und autorisiert sich durch einen sicheren Login über W-LAN / WiFi gegenüber einem Server mit REST-Web-Schnittstelle. Hierdurch werden die Nutzerdaten gesichert abgerufen und bei bestehender Internet-Verbindung fortlaufend synchronisiert. Mit Hilfe des eingesetzten Node.js-Servers können bei Bedarf auch Lösungen von Drittanbietern an den Server angebunden werden.

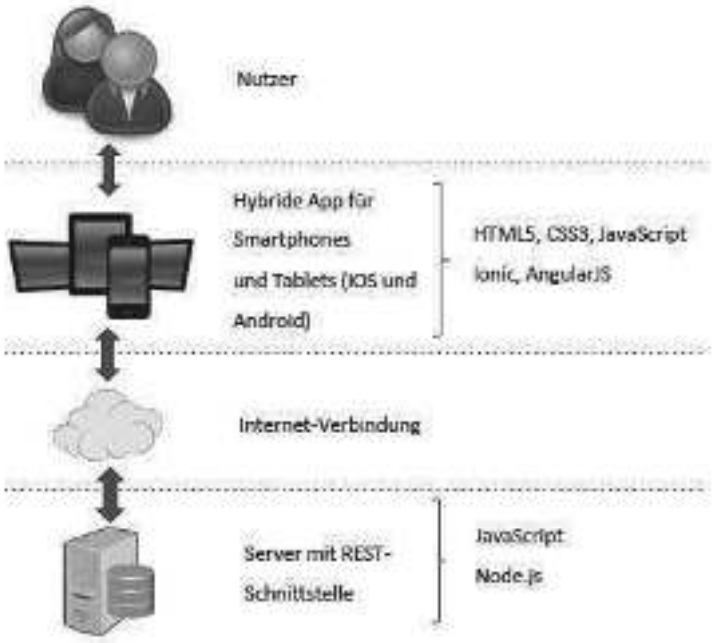


Abb. 1: Server-Client-Modell der Ejo-App

Eine Übersicht der verwendeten Serverarchitektur wird in Abbildung 2 gezeigt. Die Synchronisation der Daten zwischen dem mobilen Endgerät (Client) und dem Server basieren

auf einer Couch-Pouch-DB-Architektur. Bilder und Videos werden nicht in der CouchDB gespeichert, sondern liegen in einer separaten MongoDB. Nach erfolgreicher Authentifizierung werden die für den Nutzer erforderlichen Medien-Daten aus der MongoDB über den Node.js-Server in den lokalen Speicher des Endgerätes geladen, so dass diese auch ohne Internetverbindung verfügbar sind.

Durch entsprechend von der Nutzerrolle abhängigen Zugriffsrechte wird hierbei sicherge-

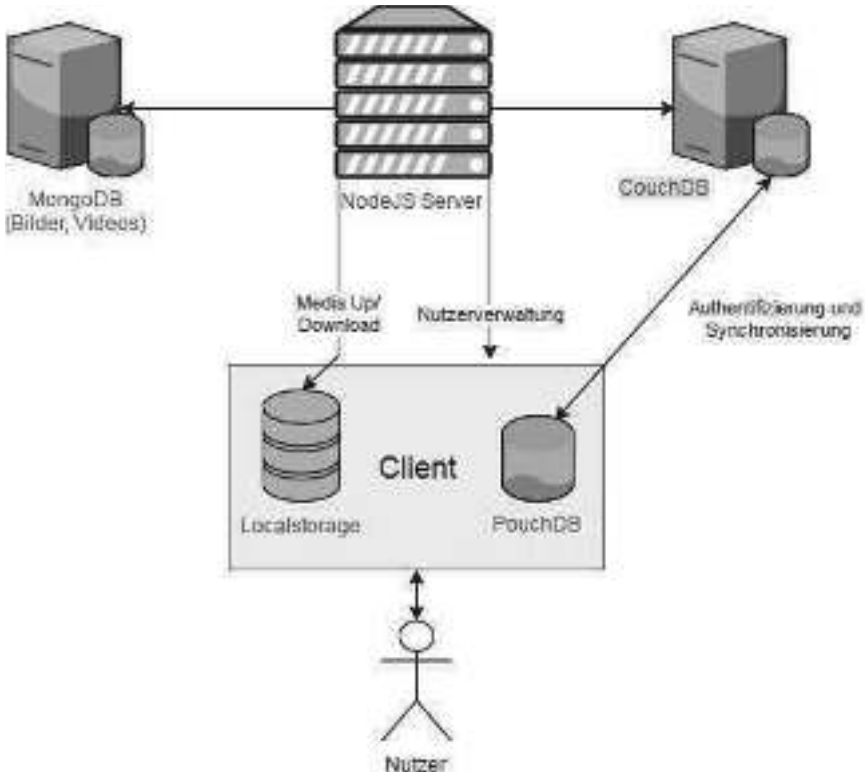


Abb. 2: Server-Architektur der Ejo-App

stellt, dass ein Nutzer des Systems nur Zugriff auf die für ihn relevanten Daten hat. Verschiedene Nutzerrollen (Nutzer, Helfer, Organisation und Administration) stellen zudem sicher, dass der Datenschutz individuell festgelegt werden kann: globale Sichtbarkeit (alle Nutzer/ Helfer/ Organisationen), organisations-interne Sicherheit (alle Helfer und seine/ ihre Nutzer der Organisation) sowie lokale Sicherheit (nur für einen Helfer und seine / ihre Nutzer).

2.2 Die Prototyp-App

Das Backend sowie die Applikation für mobile Endgeräte für die Nutzer wurde implementiert. Hierbei wurde auf eine für Menschen mit kognitiven Einschränkungen barrierefreie Oberfläche geachtet: Bedienelemente müssen intuitiv sein und keine zusätzlichen Ablenkungsfaktoren bieten. Um dieses auch für verschiedene Nutzer zu realisieren wurden die Bedienelemente anpassbar gemacht, so dass bei Bedarf diese auf eine minimale Anzahl reduziert werden können. Ebenso wurden verschiedene Sichten („Views“) umgesetzt. Durch das Autorisierung mit Benutzername und Passwort wird der für den Nutzer entsprechende View geladen. So kann von der multimedialen Darstellung nur eines oder mehrere Schritte eines Arbeitsvorgangs bis zur eigenständigen Planung von Arbeitstagen durch eine integrierte Kalenderfunktionalität die App individuell auf die Bedürfnisse und das Können des Nutzers angepasst werden.
In Abbildung 3 wird exemplarisch eine solche Oberfläche dargestellt. Neben einem mehrfarbigen Fortschrittsbalken wird ein Bild von der Nutzerin bei der Tätigkeit „Arbeitsfläche abspritzen“ gezeigt. Da die Nutzerin keinerlei Vorerfahrung bei der Benutzung von mobilen Endgeräten besass, wurden bis auf den „Weiter“ -Button alle anderen Bedienelemente deaktiviert, sowie eine für die Probandin auch ohne Brille lesbare Schriftgröße verwendet.



Abb. 3: Server-Architektur der Ejo-App

3 Evaluationsergebnisse

Die entwickelte Applikation wurde von verschiedenen Probanden und in verschiedenen Arbeitsumgebungen (Spülküche, Lager, Zimmerreinigungsdienst, Service) evaluiert. Alle Probanden konnten nach einer kurzen Einführung mit Hilfe der App die geprüften Arbeitsvorgänge korrekt, vollständig und selbstständig ausführen. Obwohl die Probanden bereits eine oder mehrere Arbeitsmaßnahmen durchlaufen hatten, wurden auf Dauer die im Rahmen dieser Maßnahmen erarbeiteten Hilfen als unhandlich und nicht mehr zeitgemäß empfunden. So berichtete eine Probandin, dass sie die Piktogramm-Übersicht der Arbeitsschritte aufgrund von Stigmatisierung nicht mehr einsetzt. Auch kam es bei allen Probanden trotz des intensiven Trainings im Laufe der Zeit zu diversen Problemen: Arbeitsschritte wurden vergessen, mehrfach oder in der falschen Reihenfolge durchgeführt, Arbeitsmaterialien wurden vor Ausführung nicht vollständig bereitgelegt und notwendige Sicherheitsmaßnahmen nicht kontinuierlich eingehalten.
Die Applikation wurde über mehrere Wochen kontinuierlich eingesetzt und wurde sowohl von den Arbeitnehmern als auch von den direkten Vorgesetzten der Probanden sehr positiv beurteilt. Die Probanden gaben an, dass die Benutzung von mobilen Endgeräten als nicht-stigmatisierend empfunden wurde. Äußerungen der Probanden wie „der Kunde sieht nicht, dass ich mir das nicht merken kann, sondern denkt, dass ich lieber arbeiten sollte, statt auf dem Handy zu spielen“ oder der Kollegen / Arbeitgeber wie „ich kann mich nun darauf verlassen, dass der Arbeitsvorgang tatsächlich richtig ausgeführt wurde und muss nicht nacharbeiten“ zeigen das große Potential einer solchen Applikation. Die Probanden berichteten zudem, dass sie durch die Anwendung der Applikation mehr Selbstwertgefühl im Berufsleben entwickelt haben und teilten mit, dass sie mit Hilfe des Systems sich auch in der Lage sehen, komplexere Aufgaben zu übernehmen. Da Menschen mit Beeinträchtigungen oft unter einer erheblichen Beeinträchtigung des Selbstwertgefühls leiden und sich vor allem im Berufsleben als weniger leistungsfähig erleben [EES16], zeigen diese Berichte einen nicht unerheblichen positiven Nebeneffekt der App.

4 Fazit und weiteres Vorgehen

Der Bedarf an einer solchen Applikation, insbesondere für das Jobcoaching, ist extrem hoch. Die Verwendung von mobilen Endgeräten zur Darstellung von Arbeitsvorgängen wurde von allen Probanden der Studie als sehr positiv und deutlich weniger stigmatisierend als herkömmliche Darstellungsweisen beurteilt. Die Arbeitgeber / Vorgesetzten der Probanden beurteilten die App ebenfalls durchweg positiv, insbesondere da die sonst erforderlichen Nacharbeiten und Kontrollen auf vollständige Ausführung des Arbeitsvorgangs wegfallen konnten.
Zur Weiterentwicklung der Applikation und zur Verstetigung in Betrieben sowie Unternehmen soll in einem weiteren Entwicklungsschritt der Applikationsumfang erweitert werden, so dass sowohl die Benutzerverwaltung als auch die Erstellung und Veränderung von Arbeitsvorgängen mit Hilfe mobiler Endgeräte möglich ist. Auch hier sind für den Einsatz

unterschiedliche Komplexitätsstufen für die Erstellung von Arbeitsvorgängen angedacht, so dass nicht nur Jobcoaches die Applikation im betrieblichen Arbeitstraining die Applikation nutzen können, sondern auch Arbeitskollegen oder Vorgesetzte als auch Menschen mit Behinderungen selbst.

Literaturverzeichnis

[Ag12] Agentur für Arbeit: , Fachkonzept für berufsvorbereitende Bildungsmaßnahmen nach §§51 ff. SGB III (BvB 1 bis 3), 2012. Online unter: https://www3.arbeitsagentur.de/web/wcm/idc/groups/public/documents/webdatei/mdaw/mdix/~edisp/l6019022dstbai433408.pdf?_ba.sid=L6019022DSTBAI433411 (zuletzt abgerufen am 27.06.2017).

[BI07] BIH Integrationsämter: Qualifizierung am Arbeitsplatz. ZB Behinderung & Beruf 4, 2007. Online einsehbar unter: https://www.integrationsaemter.de/Betriebliches-Arbeitstraining/222c1477i1p62/index.html (zuletzt abgerufen am 27.06.2017).

[Bu11] Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz: , BITV - Verordnung zur Schaffung barrierefreier Informationstechnik nach dem Behindertengleichstellungsgesetz 2.0, 2011. Online unter: https://www.gesetze-im-internet.de/bitv_2_0/BJNR184300011.html (zuletzt abgerufen am 27.06.2017).

[Co11] Cole, Eliot: Patient-Centered Design: Interface Personalization for Individuals with Brain Injury. 6766. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, S. 291–300, 2011.

[Co13] Cole, Eliot: Patient-Centered Design of Cognitive Assistive Technology for Traumatic Brain Injury Telerehabilitation. 2(1). Morgan & Claypool Publishers, S. 1–159, 2013.

[EES16] Engels, Dietrich; Engel, Heike; Schmitz, Alina: , Teilhabebericht der Bundesregierung über die Lebenslagen von Menschen mit Beeinträchtigungen 2016, 2016. Im Auftrag des Bundesministeriums für Arbeit und Soziales. Online unter: http://www.bmas.de/SharedDocs/Downloads/DE/PDF-Pressemitteilungen/2017/zweiter-teilhabebericht.pdf?__blob=publicationFile&v=4 (zuletzt abgerufen am 27.06.2017.

[Hö] Hötten, Reinhard: , Jobcoaching. Online unter: http://www.job-coaching.de/#/overview (zuletzt abgerufen am 27.06.2017).

[LW] LWL Integrationsamt Westfalen: , Menschen mit Behinderung im Beruf. Arbeitsbereich für betriebliches Arbeitstraining. Online unter: https://www.lwl-integrationsamt.de/fachdienste/fachdienst_betriebliches_arbeitstraining (zuletzt abgerufen am 27.06.2017).

[Sä08] Sändker, Elin: Formen und Projekte des betrieblichen Arbeitstrainings in der Bundesrepublik Deutschland. Bericht, Fachhochschule Osnabrück, 2008. Online unter: http://www.lwl.org/abt61-download/html/AT-Forum/pdfs/Formen_betrieblichen_Arbeitstrainings.Elin_Saendker.pdf (zuletzt abgerufen am 27.06.2017).

[St16a] Statista: , Anteil der Smartphone-Nutzer in Deutschland in den Jahren 2012 bis 2016, 2012–2016. Online unter: https://de.statista.com/statistik/daten/studie/585883/umfrage/anteil-der-smartphone-nutzer-in-deutschland/ (zuletzt abgerufen am 27.06.2017).

[St16b] Statista: , Anteil der Smartphone-Nutzer in Deutschland nach Altersgruppe im Jahr 2016, 2016. Online unter: https://de.statista.com/statistik/daten/studie/459963/umfrage/anteil-der-smartphone-nutzer-in-deutschland-nach-altersgruppe/ (zuletzt abgerufen am 27.06.2017).

[Wo08] World Wide Web Consortium: , WCAG - Web content accessibility guidelines 2.0, 2008.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 369

Emotions-sensitive Trainingssysteme für Menschen mit Autismus: Ethische Leitlinien

Isabel Dziobek[1], Ulrike Lucke[2], Arne Manzeschke[3]

Abstract: Inklusion erfordert die Berücksichtigung individueller Bedürfnisse und erhält daher durch die Flexibilität digitaler Medien einen besonderen Schub. Adaptivität hat sich dabei als ein wichtiges Instrument erwiesen, z.B. für die Gestaltung bedarfsgerechter Assistenz- oder Trainingssysteme. Neben den Chancen einer maßgeschneiderten Bildung erwachsen daraus aber auch Risiken, wie z.B. der durch die bloße Verfügbarkeit eines Trainingssystems implizit ausgeübte Normalisierungsdruck. Dies wird umso sensibler, wenn eine Gefahr der Ausgrenzung besteht. Das ethische Grundverständnis von Systemgestaltern und –anbietern muss daraufhin geschärft werden. Existierende Leitlinien sind auf die spezifischen Probleme adaptiver Lernsysteme noch nicht anwendbar. Der Beitrag motiviert anhand eines konkreten Beispiels aus der Autismus-Forschung die Notwendigkeit und schlägt mögliche Formulierungen für derartige Ethik-Leitlinien vor.

Keywords: Inklusion, Web-based Training (WBT), Adaptivität, Normierung, Verantwortung, Ethik

1. Einleitung

Vernetzte Informationssysteme durchdringen immer mehr Bereiche unseres Lebens. Die zunehmende Vernetzung soll nicht nur allen Menschen einen eigenen Zugang zum Internet ermöglichen, sondern soll diese Menschen mit allen elektronisch adressierbaren Geräten verknüpfen und ihnen auf diese Weise die Umwelt informatisch auf neue Art erschließen [Sa11]. Ein Beispiel sind IT-gestützte Lernsysteme, die über die reine Wissensvermittlung bzw. -überprüfung hinaus auch analytisch-diagnostisch auf den Lernenden und den Lernprozess blicken, um didaktisch motivierte Empfehlungen für eine Optimierung auszusprechen [SF12]. In ähnlicher Weise ergibt sich aus der Betrachtung der konkreten Bedürfnisse von Menschen mit Behinderungen und der flexiblen Anpassbarkeit digitaler Medien hohes Potential für die Gestaltung inklusiver Lern- und Arbeitsumgebungen [KL15][En16]. Es sind aber auch sehr viel weitreichendere Visionen in der Diskussion, in denen eine Vernetzung zwischen den Menschen und der Natur angestrebt wird, um die Verbundenheit aller Lebewesen für den Menschen erfahrbar werden zu lassen und so die Balance in den Ökosystemen wieder herzustellen [Sc14].

[1] HU Berlin, Berlin School of Mind & Brain, Unter den Linden 6, 10099 Berlin, vorname.nachname@hu-berlin.de
[2] Uni Potsdam, Institut für Informatik & Computational Science, August-Bebel-Str. 89, 14482 Potsdam, vorname.nachname@uni-potsdam.de
[3] Ev. HS Nürnberg, Institut für Pflegeforschung, Gerontologie & Ethik, Bärenschanzstr. 4, 90429 Nürnberg, vorname.nachname@evhn.de

doi:10.18420/in2017_30

Die Verbindung zwischen dem Menschen und seiner informatisch aufbereiteten und zugänglichen Umwelt wird durch adaptive, virtuelle, augmentierte Elemente bereichert, die ihre Leistungsfähigkeit aus der Erhebung, Verarbeitung und Speicherung von großen Datenmengen beziehen. Indem der Mensch diese neuen Welten herstellt, erwachsen ihm neben allen Bereicherungen, Erleichterungen und Chancen jedoch auch manifeste Orientierungsprobleme. Neben der für die Nutzer derartiger IT-Systeme immer schwerer durchschaubaren und handhabbaren Komplexität betrifft dies auch die Gestalter der Systeme selbst: Die ethische Reflexion über das entstehende Produkt und den Schaffensprozess (jenseits sachlichen Abwägungen zum technisch Machbaren) findet bislang als professionelle Verantwortung bei der IT-Systementwicklung oft nur unzureichend Berücksichtigung [Di16], was umso kritischer einzustufen ist wenn Nutzer mit Behinderungen betroffen sind. Die Auswirkungen spüren IT-Entwickler gelegentlich in Form von unzufriedenen Nutzern ihrer Entwicklungen, geringer Akzeptanz ihrer Innovationen oder steigender Technologie-Skepsis in der Gesellschaft. Dem wird z.B. technisch-methodisch versucht durch die Optimierung von Anforderungsermittlung und Systemdesign zu begegnen, z.B. durch eine verbreiterte Datenbasis im Requirements Engineering [Ma16] oder durch partizipative Gestaltungsmethoden [SR12]. Auch im Bereich der inklusiven Lernsysteme verbergen sich neben dem großen Potenzial eines orts- und zeitunabhängigen Zugangs zu Bildungsressourcen [LS12] oder personalisierter Lernangebote [LR14] einige ethisch durchaus kritisch zu reflektierende Aspekte, die bislang aber nicht im Entwicklungsprozess berücksichtigt werden.

Der Beitrag zeigt in Abschnitt 2 zunächst auf, wie aus der Entwicklung und dem Einsatz adaptiver Lernsysteme neben Chancen für Lernende mit Behinderungen auch gesellschaftliche Risiken entstehen können. Daraufhin wird die angewandte ethische Bewertungsmethodik in Abschnitt 3 beschrieben, und anschließend werden in Abschnitt 4 Leitlinien für die Gestaltung derartiger Systeme aufgestellt. Der Beitrag schließt in Abschnitt 5 mit einer Zusammenfassung und einem Ausblick auf weitere Schritte.

2. Chancen und Risiken emotions-sensitiver Trainingssysteme

Adaptivität (nicht nur von Lernsystemen) ist ein wertvolles Mittel, um die leichte Veränderbarkeit digitaler Medien für deren Anpassung an die Bedürfnisse des Menschen zu nutzen. Speziell im Bildungskontext besteht Anpassungspotenzial neben allgemeinen Parametern wie Ort und Zeit v.a. aus lernspezifischen Parametern wie angestrebten Lernzielen, erreichten Lernfortschritten, bevorzugten Lernstilen usw. [LS12][LR14]. Jüngere Entwicklungen berücksichtigen zudem affektive Aspekte [Wh14], z.B. indem aus Langeweile oder Frustration der Lernenden auf Unter- oder Überforderung geschlossen wird, was z.B. in einer Anpassung von Aufgabentypus oder -schwierigkeit resultieren kann. Die Erkennung der Gefühlszustände der Lernenden kann aus Gesichtsausdruck, Blickverhalten, Stimmlage, Körperhaltung oder auch expliziten Äußerungen erfolgen. Dies kann insbesondere für Lernende mit kognitiven oder affektiven Behinderungen eine große Erleichterung darstellen [Zo17]. Ein Beispiel für ein solches Trainingssystem ist in

Abb. 1 dargestellt: das System EVA (Emotionen verstehen und ausdrücken), das für Menschen mit Autismus entwickelt wurde. Das Verstehen und das Aussenden von sozio-emotionalen Signalen wie Gesichtsausdruck und Blickverhalten sind bei Menschen mit Autismus-Spektrum-Störungen gestört [Dz06]. Es sind jedoch wesentliche Funktionen sozialer Kognition und somit wichtige Prädiktoren für erfolgreiche soziale Interaktionen. Bislang bleiben in Lernprogrammen die Mimik oder das Blickverhalten der Lernenden meist unberücksichtigt, obwohl diese auch zur interaktiven Steuerung für adaptive Trainingsalgorithmen oder als direktes Trainingsziel genutzt werden könnten [Vo10]. Es kann vermutet werden, dass deshalb der Transfer des Gelernten in den sozialen Alltag bislang oft nicht gelingt. In EVA sind sozio-emotionale Signale zum einen Gegenstand des Trainings. Zum anderen werden sowohl die Trainingsergebnisse als auch nonverbale, emotionale Signale der Trainierenden genutzt, um den Fortschritt und die Trainingsmotivation zu erfassen und durch Adaptionen an die Bedürfnisse des Trainierenden bzgl. Schwierigkeit und Aufgabentypus den Trainingserfolg zu steigern.

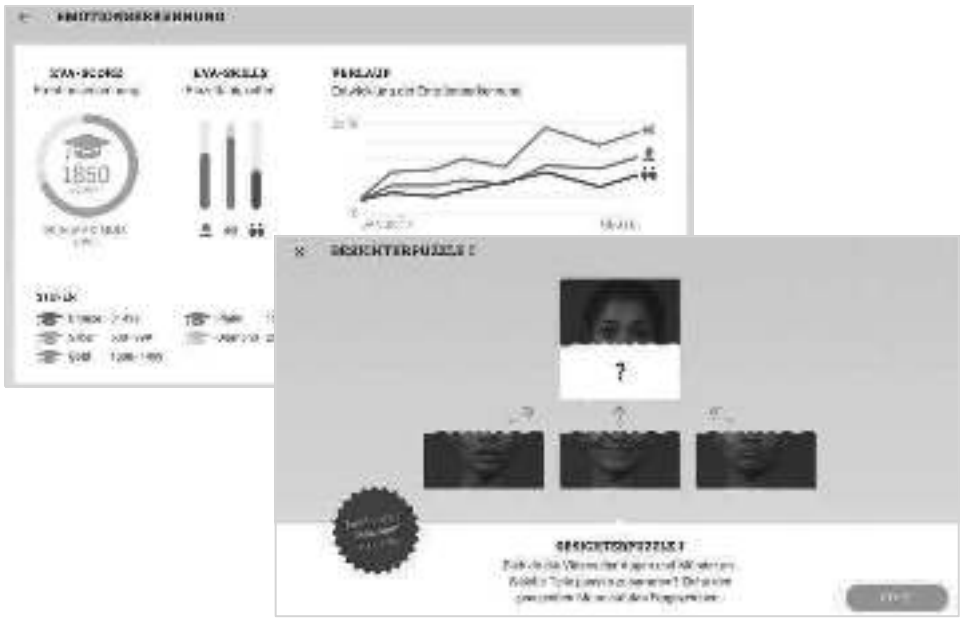


Abb. 1: Die Fähigkeiten des Lernenden, Emotionen zu erkennen und wiederzugeben, werden vom System erfasst und nach vordefinierten Kriterien bewertet.

Daraus resultieren einerseits Chancen für die Lernenden, da durch Anpassung an ihre individuellen Bedürfnisse eine möglichst hohe Motivation und ein gesteigerter Trainingserfolg erzielt werden kann. Gleichzeitig entstehen aber auch Risiken. Dies betrifft bspw. die Gefahr einer Bevormundung, wenn das Trainingssystem autonome und intransparente Entscheidungen trifft, die über den weiteren Verlauf des Trainings und damit u.U. auch einer späteren Integration in das Berufsleben entscheiden. Es besteht die

Gefahr, dass derartige Trainingssysteme als eine Art „Maschinerie zur Zurichtung behinderter Menschen für die Verwertungsinteressen der Gesellschaft“ [Mü07] verstanden werden, um ihren Anspruch auf Unterstützung durch den Wohlfahrtsstaat aufrecht erhalten zu dürfen – ähnlich wie wir bei Sehbeeinträchtigungen ganz selbstverständlich erwarten, dass die Dienste von Augenarzt bzw. Optiker in Anspruch genommen werden, um diese zu korrigieren. Dieser Normalisierungsdruck ist auch aus anderen Feldern bekannt [Ad70]. Bestehende Ethik-Leitlinien der Fachgesellschaften [An92][Rö04] können hier einen Ausgangspunkt der Überlegungen bilden, reichen aber angesichts des heutigen technologischen Fortschritts noch nicht weit genug.

3. Zur Methodik der Erfassung ethischer Herausforderungen

Das *Modell zur ethischen Evaluation sozio-technischer Arrangements* (MEESTAR), dargestellt in Abb. 2, wurde im Rahmen einer vom BMBF initiierten Begleitforschung entworfen und hat sich zu einem maßgeblichen Instrument zur strukturierten Reflexion ethischer Aspekte bei der Forschung und Entwicklung von Unterstützungssystemen im Bereich der Mensch-Maschine-Interaktion entwickelt [Ma13, Ma15a].

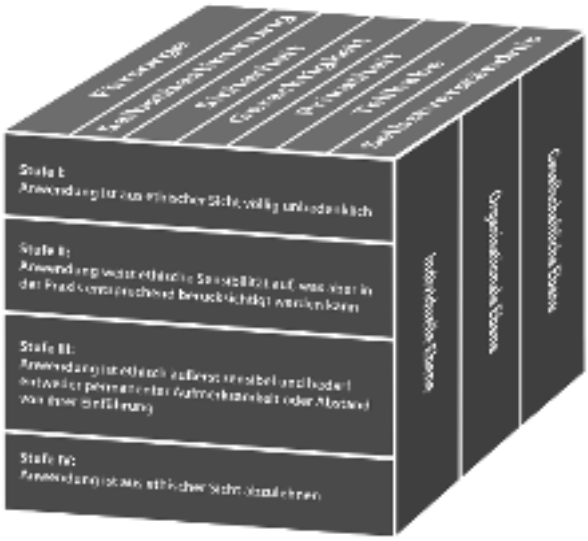


Abb. 2: MEESTAR-Modell zur ethischen Evaluation sozio-technischer Arrangements [Ma15a]

Die Anwendung dieses Modells geschieht in Workshops mit relevanten Akteuren und Betroffenen. Dabei wird im ersten Schritt eine möglichst präzise Beschreibung des anvisierten Anwendungsszenarios vorgenommen, die einerseits das Zusammenspiel von Mensch und Technik und andererseits den Bedarf auf menschlicher Seite erkennen lässt, auf den hier technisch geantwortet werden soll. Im zweiten Schritt werden die mit dieser technischen Entwicklung verbundenen, potentiellen ethischen Probleme über sieben

moralische Dimensionen (x-Achse im Modell) identifiziert, evaluiert (y-Achse) und aus drei Beobachtungsperspektiven (individuell, organisational und gesellschaftlich; z-Achse im Modell) bearbeitet. Somit erfolgt eine multiperspektivisch differenzierte Betrachtung des Szenarios und der Auswirkungen über verschiedene Ebenen hinweg.

Auf diese Weise wird über einen strukturierten Dialog von Akteuren und Betroffenen ein Verständnis für den Gehalt und die Dringlichkeit normativer Fragen bei Forschung, Entwicklung und Einsatz von Technik gewonnen, um so antizipierend die eigene Forschungs- und Entwicklungsarbeit im Sinne der eigenen ethischen Verantwortlichkeit zu gestalten [We15, Ma15b]. Für die Entwicklung des EVA-Systems wurden bisher zwei MEESTAR-Workshops mit je 15-20 Teilnehmern durchgeführt, in denen zwei Einsatzszenarien (Unterstützung emotionaler Kompetenz bei alten Menschen und bei Menschen mit Autismus) reflektiert wurden. Ethisch gesprochen handelt es sich hier um vulnerable Gruppen, die einer besonderen Aufmerksamkeit und Verantwortung bedürfen. Für den Umgang mit diesen Gruppen im Anschluss an vorhandene, jedoch allgemein formulierte Leitlinien [Ma13] für die gegebenen Szenarien spezifische Leitlinien formuliert. Diese verstehen sich als Konkretisierung der ethischen Verantwortlichkeit des Forschungsteams und bilden die Grundlage für den weiteren gemeinsamen Prozess der internen Zusammenarbeit sowie im Umgang mit Forschungspartnern und Gesellschaft. Über die Angemessenheit der Leitlinien und die Erfahrung mit ihnen im Rahmen der empirischen Forschungsprojekte wird auf einem dritten Ethik-Workshop beraten.

4. Ethische Leitlinien für emotions-sensitive Trainingssysteme

Zweck dieser Leitlinien ist es, Orientierung bei der konzeptionellen und technischen Gestaltung sowie bei der Durchführung von Studien zu emotionssensitiven und/oder kommunikationsunterstützenden Trainingssystemen zu geben und Sensibilität zu schaffen für das ethisch orientierte Urteilen, Entscheiden und Handeln. Ausdrücklich (noch) kein Ziel dieser Leitlinien ist die Übertragung auf den späteren Praxiseinsatz von Trainingssystemen außerhalb des ursprünglichen Forschungskontexts.

Die Leitlinien richten sich auf die Entwicklung eines Trainingssystems für verschiedene Zielgruppen, die von einer Verbesserung ihrer sozio-emotionalen Kompetenzen profitieren können. Dies kann beispielsweise umfassen:

- Menschen mit Autismus
- ältere Menschen
- bestimmte Berufsgruppen

Für verschiedene Zielgruppen kämen folglich verschiedene Selektionskriterien zum Tragen. Zugleich ist der Übergang zwischen (therapeutischer) Intervention und Enhancement fließend. Die Leitlinien sind gegenüber diesen Spektren offen.

Jede der im Folgenden formulierten 16 Leitlinien besteht aus einem Titel und einem Leit-Kernsatz (kursiv), dem eine detailliertere Beschreibung folgt.

1. Selbstbestimmung
Emotionssensitive/interaktive Trainingssysteme sollen den Nutzern helfen, ein selbstbestimmtes Leben zu führen.
Emotionssensitive/interaktive Trainingssysteme sollen so gestaltet werden, dass ihre Nutzer innerhalb der technisch unterstützten Lebensbereiche weiterhin selbstbestimmt entscheiden und agieren können. Von emotionssensitiven Trainingssystemen sollen keine weitreichenderen Entscheidungen jenseits der momentanen Trainingssitzung ausgehen, wenn dieser Systemschritt nicht vorab mit Einverständnis des Nutzers festgelegt wurde. Der Einsatz von selbstentscheidenden Systemen soll daher einer besonderen Achtsamkeit unterliegen und eher Vorschläge unterbreiten als Entscheidungen treffen. Zudem soll es dem Nutzer prinzipiell möglich sein, über die Teilnahme selbständig zu entscheiden. Anbieter wie Nutzer sollen über diese möglichen Abschaltungsmechanismen informiert werden.

2. Eingeschränkte Selbstbestimmung/Autonomie
Der Einsatz von emotionssensitiven/interaktiven Trainingssystemen bei nicht einwilligungsfähigen Personen kann nur nach gesonderter Prüfung und unter Berücksichtigung des mutmaßlichen Willens der Personen erfolgen.
Nicht einwilligungsfähige Personen sollten mit ihren Angehörigen oder Bevollmächtigten bzw. durch anderweitige Regelungen ihren eigenen Willen und ihre Haltung zum Einsatz von emotionssensitiven/interaktiven Trainingssystemen zum Ausdruck bringen können (bzw. eine Betreuungsperson benennen). Bei Personen, die nicht entscheidungsfähig sind, dürfen technische Assistenz-Anwendungen erst nach ausdrücklicher Rücksprache mit den Angehörigen bzw. den Betreuungspersonen zum Einsatz kommen. Die Angehörigen oder Betreuer/innen sollen individuell aufgeklärt werden.

3. Teilhabe
Emotionssensitive/interaktive Trainingssysteme sollen die Teilhabe am gesellschaftlichen Leben unterstützen.
Mithilfe von emotionssensitiven/interaktiven Trainingssystemen soll der Zugang zum gesellschaftlichen Leben erleichtert werden. Hierbei haben individuelle Vorstellungen zur Teilhabe Vorrang, d. h. es soll keine systemseitige Lenkung stattfinden, wie Teilhabe gestaltet wird. Trainingssysteme sollen außerdem nicht andere Formen der Teilhabeermöglichung (z. B. durch persönliche Freundschaften) verdrängen oder behindern.

4. Gerechtigkeit
Der Zugang zu emotionssensitiven/interaktiven Trainingssystemen soll diskriminierungsfrei gestaltet werden.
Ein vom Einkommen, sozialem Status, Alter, Geschlecht, Bildungsniveau, Technikaffinität unabhängiger, gleichberechtigter und barrierefreier Zugang zu emotionssensitiven/interaktiven Systemen ist anzustreben. Ziel sollte es sein, das System kostenfrei und unter einer gemeinfreien Lizenz anzubieten.

5. Sicherheit
Der Umgang mit emotionssensitiven/interaktiven Trainingssystemen muss für alle Nutzergruppen unbedenklich sein, sowohl bei der normalen Anwendung als auch bei potenziellen Fehlern und Ausfällen der gesamten Technik oder einzelner Prozessketten.
Emotionssensitive/interaktive Trainingssysteme sollen nicht die Sicherheit i. S. v. körperlicher oder geistiger Integrität der Nutzer und Anbieter beeinträchtigen. Auch Fehler, Funktionsausfälle, prozessuale Unterbrechungen, Netzwerkprobleme oder anderweitige technische Defekte oder menschliche Irrtümer dürfen die Beteiligten nicht beeinträchtigen oder gar gefährden. Die Trainingssysteme dürfen nicht zu zusätzlichen physischen oder psychischen Belastungen wie etwa Stress, emotionaler Abhängigkeit, Überforderung o.ä. führen.

6. Privatheit
Emotionssensitive/interaktive Trainingssysteme sollen die persönliche Lebensgestaltung und die Privatsphäre nicht negativ beeinträchtigen.
Die Erhebung und Weiterverarbeitung von Daten, die aus den mentalen Zuständen und dem privaten Umfeld der Nutzer von emotionssensitiven/interaktiven Trainingssystemen an Dritte geleitet werden, müssen so gestaltet werden, dass keine weiterführenden Informationen (z. B. Verknüpfung der Daten) oder Identifizierungen abgeleitet werden können. Warnsignale oder -nachrichten sollten pseudonymisiert und – wo immer möglich – anonymisiert werden. Die Erhebung und Weiterleitung von Daten aus dem Kernbereich der Privatsphäre der Nutzer durch emotionssensitive/interaktive Trainingssysteme sind wie bei allen datenverarbeitenden Systemen durch besondere Schutzmaßnahmen abzusichern. Der Schutz dieser Daten, auch durch die Vermeidung der Zusammenführung der Daten mehrerer Nutzer, ist hierbei besonders wichtig. Die Privatheit soll soweit wie möglich erhalten bleiben durch u. a. sparsame Erhebung von Daten aus der Privatsphäre und dem persönlichen Umfeld des Nutzers, die besondere Berücksichtigung von Datenschutz und das Einholen expliziter Zustimmung des Nutzers für die Weiterleitung dieser Daten an Dritte.

7. Datenschutz
Personenbezogene und sonstige vertraulich zu behandelnde Daten (z.B. ausgelesene mentale Zustände), die im Kontext von emotionssensitiven/interaktiven Trainingssystemen erhoben, dokumentiert, ausgewertet oder gespeichert werden, sollen vor dem Zugriff unbefugter Dritter sowie vor Missbrauch bestmöglich geschützt werden.
Dritte dürfen nicht unbefugt auf persönliche Daten von Nutzern zugreifen oder diese verarbeiten. Dies schließt auch den Zugriff auf Daten des ärztlichen, psychotherapeutischen oder pflegerischen Personals ein (Mitarbeiterdatenschutz). Datenschutzerklärungen sollen einfach und klar verständlich verfasst sein. Im Zweifel ist immer zugunsten der Person zu entscheiden, von der die Daten originär stammen. Die für die Einhaltung des Datenschutzes und des Rechtes auf informationelle Selbstbestimmung notwendigen Vorsichtsmaßnahmen und Handlungsanleitungen für einen richtigen Umgang mit solchen sensiblen Daten sind in verständlicher Form zu kommunizieren und transparent zu machen.

8. Aufklärung und informationelle Selbstbestimmung
Nutzer von emotionssensitiven/interaktiven Trainingssystemen sollten insbesondere über die kontinuierliche, implizite und adaptive Natur des Systems informiert werden, und die Aufklärung über die Funktion und die Erhebung der sie betreffendenden Daten sowie die Einholung expliziten Einverständnisses soll als kontinuierlicher und begleitender Prozess implementiert werden (Dynamic Consent).
Über Umfang, Rahmen, Eingriffstiefe (kontinuierliche implizite Natur der Adaptivität), Funktionalität (besondere Berücksichtigung der Fehlerbehaftetheit) und Datennutzung der jeweiligen altersgerechten Assistenzsysteme muss vollständig, verständlich und angemessen informiert werden. Erst auf Basis dieser Aufklärung und Information sollen Nutzer über den Einsatz von Trainingssystemen entscheiden.

9. Haftung
Verantwortungsübernahme, Haftung und Haftungsbeschränkung im Fall einer fehlerhaften Funktion von emotionssensitiven/interaktiven Trainingssystemen müssen transparent und verbindlich geregelt werden.
Die Verantwortlichkeiten und Haftungsrisiken bei hochkomplexen systemischen Lösungen sind genau zu definieren. Ein Verantwortungsvakuum sollte vermieden werden. Zu jedem Trainingssystem und seinen Funktionen sollen Verantwortlichkeiten und Zuständigkeiten klar definiert werden.

10. Alters-, Krankheits- und Menschenbilder
Emotionssensitiven/interaktiven Trainingssystemen sollen möglichst vielfältige Bilder vom Alter und seelischer Krankheit bzw. Gesundheit zulassen.
Ein einseitiges, etwa defizitär gezeichnetes Bild vom Menschen mit psychischen Störungen oder vom älteren Menschen soll genauso vermieden werden wie ein einseitig positiv gezeichnetes Bild vom alten Menschen als vitaler, leistungsfähiger, disziplinierter Mensch. Es soll daher ein offenes und vielschichtiges Bild vom Alters- bzw. Krankheitsbegriff bzw. seelischer Gesundheit gezeichnet werden. Vielmehr ist es notwendig, alle Facetten im gesellschaftlichen Diskurs zu berücksichtigen, ohne dabei vorab selektive und/oder diskriminierende Positionen und/oder Normen aufzustellen. Emotionssensitive/interaktive Trainingssysteme sollten daher immer einen Angebotscharakter haben und deren Einsatz auf Freiwilligkeit und eigenen Wunsch und nicht (nur) im Rahmen einer Verschreibung stattfinden.

11. Stigmatisierung, Diskriminierung, Normierung
Jede mögliche Form der Stigmatisierung oder der Diskriminierung während der Nutzung von emotionssensitiven/interaktiven Trainingssystemen sind unter Wahrung des Gleichheitsgrundsatzes zu vermeiden.
Es ist eine individuelle Entscheidung, ob jemand ein Training von sozial-kognitiven Fähigkeiten durchführt oder nicht. Der Einsatz von Technik kann versteckt oder offen normierend wirken, wenn die Anpassung an ein minimales Fähigkeitsniveau, an technische Rhythmen und Routinen oder die Ausrichtung von Alltagshandlungen an durch das System vorgegebene Trainingsziele erwartet würde. Das System sollte daher nicht in

Kontexten eingesetzt werden, bei denen das (erfolgreiche) Absolvieren des Programms als verpflichtend angesehen wird.

12. Anwendungsfreundlichkeit
Emotionssensitive Trainingssysteme sollen so gestaltet sein, dass der Umgang für die Anwender einfach, intuitiv und gut nachvollziehbar ist.
Entscheidend für die Gebrauchstauglichkeit und -freundlichkeit (engl. »Usability«) emotionssensitiver/interaktiver Trainingssysteme ist eine einfache und eingängige Bedienung. Hierbei ist für den Nutzer insbesondere Transparenz darüber herzustellen, welche Emotionen ausgelesen und ausgewertet werden. Für das Forschungssetting müssen zum Teil andere Regeln gelten, um das Forschungsergebnis nicht zu verfälschen – dies ist den Teilnehmenden der Studie in einem Aufklärungsgespräch entsprechend zu vermitteln. Anforderungen und Nutzerinteressen sind bei der Planung, Konzeption, Testung, Vermarktung, Anwendung sowie Weiterentwicklung und Wartung von emotionssensitiven Trainingssystemen einzubeziehen.

13. Vertragsbestimmungen
Nutzern von emotionssensitiven Trainingssystemen soll die Möglichkeit gegeben sein, von dem Vertragsverhältnis zurückzutreten.
Bei der Forschung mit emotionssensitiven Trainingssystemen soll die Möglichkeit bestehen, jederzeit die Teilnahme beenden zu können, sollte ein Nutzer sich verunsichert, unwohl, beobachtet, in seiner Privatsphäre beeinträchtigt fühlen oder anderweitige Bedenken haben (siehe auch #16: »Emotionale Bindung zum ›System‹« und #8: »Aufklärung und informationelle Selbstbestimmung«). Nutzer von Trainingssystemen sollen zunächst in einem Testlauf die technische Anwendung ausgiebig testen können, bevor sie sich für die zeitweise Teilnahme bzw. Nutzung entscheiden. Modular aufgebaute Trainingssysteme können helfen, hier eine größtmögliche Flexibilität zu erzielen. Im Falle eines selbstgewählten Endes der Nutzung durch die Nutzer selbst müssen die Zuständigkeiten, Verantwortlichkeiten und Haftungsfragen geregelt und allgemeinverständlich kommuniziert werden.

14. Qualifizierung und Weiterbildung
Alle Akteure im Bereich emotionssensitiver Trainingssysteme sollen an regelmäßigen Fort- und Weiterbildungsmaßnahmen teilnehmen.
Anbieter von emotionssensitiven Trainingssystemen sollten sich zur ständigen Weiterbildung und Weiterqualifizierung im Bereich der emotionssensitiven Erfassungs- und Trainingstechniken verpflichtet fühlen. Das impliziert auch die Berücksichtigung von Nutzer-Akzeptanzstudien und Nutzer-Wünschen sowie Grundkenntnisse in juristischen, ökonomischen, ethischen und sozialen Fragen, und die Möglichkeit des Missbrauchs durch neuere technische Weiterentwicklungen.

15. Verantwortungsvoller Umgang mit der Technik
Entwickler emotionssensitiver Trainingssysteme sollen verantwortlich agieren; diese Technologien sollten stets zum Nutzen und Wohl der Nutzer eingesetzt werden.

Das vorrangige Ziel von emotionssensitiven Trainingssystemen für sozial kognitive Fähigkeiten ist, einen eindeutigen Mehrwert für den Nutzer zu schaffen. Die Technik dient dem Menschen und sollte sich seinen Bedürfnissen, Wünschen und Lebensprozessen anpassen – nicht umgekehrt (siehe auch #11 »Vermeiden von Diskriminierung und Normierung«). Dabei ist es besonders wichtig, dass der Mehrwert von technischen Trainingssystemen für den Nutzer klar ersichtlich und nachvollziehbar ist. Bei der Weiterentwicklung und Anpassung des Trainingssystems sollte immer kritisch hinterfragt werden, ob das Trainingsziel, und die Mittel, mit denen es erreicht werden soll, unerwünschte Nebenwirkungen haben könnten. Soweit möglich sollte die eingesetzte Trainingsplattform so konstruiert sein, dass eine missbräuchliche Verwendung durch Dritte nicht möglich ist oder erschwert wird.

16. Emotionale Bindung
Die Nutzung eines emotionssensitiven, interaktiven Trainingssystems impliziert die emotionale Besetzung und gegebenenfalls emotionale Abhängigkeit auf Seiten des Nutzers. Die emotionale Beziehung soll professionell begleitet, die emotionale Abhängigkeit soll vermieden werden.
Die Nutzung eines algorithmusbasierten, emotionssensitiven/interaktiven Trainingssystems wird voraussichtlich auf Seiten des Nutzers zu einer intimen, emotionalen Bindung führen. Vermutlich erhöht sich der Trainingserfolg mit dem Grad der emotionalen Beziehung, vermittelt bzw. konstituiert ihn sogar. Jedes Training muss daher verantwortungsvoll gestaltet und professionell begleitet werden, und es muss über die Möglichkeit der Entstehung einer Bindung aufgeklärt werden. Eine emotionale Abhängigkeit soll jedoch vermieden werden. Es ist gegebenenfalls immer wieder darauf hinzuweisen, dass es sich bei der Interaktion um eine solche mit einer Maschine handelt, so dass bei dem Nutzer Gefühle der Täuschung, es könnte sich um eine emotionale Beziehung zu einem Menschen handeln, möglichst nicht aufkommen.

5. Zusammenfassung und Ausblick

Inklusive Lernsysteme bergen großes Potenzial, um Bildungsangebote an individuelle Bedürfnisse anzupassen. Mit Blick auf die große Bedeutung der Motivation für den Lernerfolg spielen hierbei nonverbale emotionale Signale (wie z.B. Mimik) eine wichtige Rolle, um eine Anpassung des Lernsystems an die (vermeintlichen) Bedürfnisse der Lernenden zu erreichen. Erste Entwicklungen von emotionssensitiven Trainingssystemen für Menschen mit Autismus sind inzwischen verfügbar, jedoch steckt die Auseinandersetzung mit ethischen Konsequenzen derartiger Systeme noch in den Kinderschuhen. Ausgehend von dem für altersgerechte Assistenzsysteme entwickelten MEESTAR-Modell wurden daher mögliche Konsequenzen des Einsatzes emotionssensitiver Trainingssysteme ermittelt, als Chancen und Risiken gegeneinander abgewogen und schließlich in Form von 16 ethischen Leitlinien als Handlungsempfehlung für die Gestalter und Anbieter derartiger Systeme formuliert. Diese Leitlinien sind nicht starr fixiert, sondern als Vorschlag zur weiteren Verständigung in dem noch jungen Feld

emotionssensitiver Technik zu verstehen. Ihre Weiterentwicklung, Überarbeitung oder Korrektur ist explizit erwünscht. So könnten methodische Limitationen bspw. im verwendeten MEESTAR-Modell oder in der Fokussierung auf sehr konkrete Szenarien bzw. Systeme liegen.

Die Leitlinien sollen einen Beitrag auch zur Weiterentwicklung des professionellen Selbstverständnisses in der Informatik leisten. Nicht nur die Erkennung und der Ausdruck von Emotionen durch Maschinen, sondern vielfältige ethisch relevante Aspekte halten verstärkt Einzug in die Technikgestaltung. Die steigende Komplexität informatisch vernetzter Welten wird alle Menschen in erhöhtem Maße fordern in Bezug auf das nötige Orientierungswissen, das Handlungsvermögen und die Selbstreflexivität. Wie lässt sich Ethik in Algorithmen „auffinden“, wie „einbauen“? Wer trägt hierfür die Verantwortung? Da die aktuell angewandten Modelle ethischer Reflexion sich nahezu ausschließlich auf Interaktionen zwischen Menschen bzw. einfache Mensch-Maschine-Interaktionen und deren Bewertung fokussieren, reichen sie nicht aus, um die dynamischen und zunehmend komplexer werdenden Interaktionsverhältnisse zwischen Mensch und Technik adäquat erfassen und evaluieren zu können. Um den veränderten gesellschaftlichen und anthropologischen Verhältnissen Rechnung zu tragen, sind daher ein neuer ethischer Reflexionsrahmen und ein methodisches Instrumentarium notwendig, mit Hilfe dessen Orientierung gestiftet werden kann und das Urteilsvermögen geschärft wird. Die vorgelegten Leitlinien sind ein weiterer Schritt in Richtung eines derartigen ethischen Rahmens für professionelles Handeln bei der IT-Systemgestaltung. Weitere Arbeiten sind erforderlich, um von spezifischen Entwicklungen zu abstrahieren und allgemeingültige Orientierungsinstrumente für informatisch vernetzte Welten zu entwickeln.

Danksagung

Die Arbeiten werden im Verbundprojekt EMOTISK vom BMBF unter Kennzeichen 16SV7241 gefördert. Daran waren neben den drei Autoren und ihren Teams auch Kai Vogeley (Uniklinik Köln), Martin Schulte-Rüther (Uniklinik Aachen) und Shu-Chen Li (TU Dresden) mit ihren Teams beteiligt.

Literaturverzeichnis

[Ad70] Adorno, T. W.: Ästhetische Theorie. Frankfurt am Main : Suhrkamp, 1970.

[An92] Anderson, R. E. (Ed.): Code of Ethics, Association for Computing Machinery, 1992.

[Di16] Diefenbach, S.; Kapsner, A.; Laschke, M.; Niess, J.; Ullrich, D.: Technology for Behavior Change – Potential, Challenges, and Ethical Questions. i-com – Journal of Interactive Media. Vol. 15, Nr. 2, S. 195-201, 2016.

[Dz06] Dziobek, I.; Fleck, S.; Kalbe, E.; Rogers, K.; Hassenstab, J.; Brand, M.; Kessler, J.; Woike, J.K.;, Wolf, O.T.; Convit, A.: Introducing MASC: a movie for the assessment of social cognition. J Autism Dev Disord 2006, 36: 623.

[En16] Engels, D.: Chancen und Risiken der Digitalisierung der Arbeitswelt für die Beschäftigung von Menschen mit Behinderung, Forschungbericht Nr. 467, Bundesministerium für Arbeit und Soziales, 2016.

[Kl12] Kliemann, D.; Dziobek, I.; Hatri, A.; Baudewig, J.; Heekeren, H.R.: The role of the amygdala in atypical gaze on emotional faces in autism spectrum disorders. J Neurosci 2012, 32: 9469.

[KL15] Köhlmann, W.; Lucke, U.: Alternative Concepts for Accessible Virtual Classrooms for Blind Users. In: Proc. 15th IEEE Int. Conf. on Advanced Learning Technologies (ICALT), IEEE Computer Society, S. 413-417, 2015.

[LR14] Lucke, U.; Rensing, C.: A survey on pervasive education. Pervasive and Mobile Computing, Vol. 14, S. 3-16, 2014.

[LS12] Lucke, U.; Specht, M.: Mobilität, Adaptivität und Kontextbewusstsein im E-Learning. i-com – Journal of Interactive Media. Vol. 11, Nr. 1, S. 26-29, 2012.

[Ma13] Manzeschke, A.; Weber, K.; Rother, E.; Fangerau, H.: Ergebnisse der Studie „Ethische Fragen im Bereich Altersgerechter Assistenzsysteme“, Berlin: VDI, 2013.

[Ma15a] Manzeschke, A.: Angewandte Ethik organisieren: MEESTAR – ein Modell zur ethischen Deliberation in sozio-technischen Arrangements. In: Vom Praktischwerden der Ethik in interdisziplinärer Sicht, Karlsruhe: KIT Scientific Publishing, S. 315–330, 2015.

[Ma15b] Manzeschke, A.: MEESTAR – ein Modell angewandter Ethik im Bereich assistiver Technologien. In: Weber, K. et al. (Hg.): Technisierung des Alters – Beitrag zu einem guten Leben?, Stuttgart (Steiner) 2015, S. 263–283

[Ma16] Maalej, W.; Nayebi, M.; Johann, T.; Ruhe, G.: Toward Data-Driven Requirements Engineering. IEEE Software 01/33, S. 48-54, 2016.

[Mü07] Mühlum, A.: Rehabilitation zwischen Normalisierungsdruck und Selbstbestimmt Leben. Sozial Extra, Vol. 31., Nr. 5/6, S. 37-41, 2007.

[Rö04] Rödiger, K.-H. (Ed.): Unsere Ethischen Leitlinien. Gesellschaft für Informatik, 2004.

[Ru01] Ruffman, T.; Henry, J.D.; Livingstone, V.: Phillips, L.H.: A meta-analytic review of emotion recognition and aging: implications for neuropsychological models of aging. Neurosci Biobehav Rev 2001, 32: 863.

[Sa11] Sauter, T.; Soucek, S.; Kastner, W.; Dietrich, D.: The Evolution of Factory and Building Automation. IEEE Industrial Electronics Magazine 03/05, S. 35-48, 2011.

[Sc14] Schwägerl, C.: Die analoge Revolution. Wenn Technik lebendig wird und die Natur mit dem Internet verschmilzt, München: Riemann, 2014.

[SF12] Shum, S. B.; Ferguson, R.: Social Learning Analytics. Journal of Educational Technology & Society 03/15, S. 3-26, 2012.

[SR12] Simonsen, J.; Robertson, T.: Routledge international handbook of participatory design, Routledge: New York, 2012.

[Vo10] Vogeley, K.; Bente, G.: "Artificial humans": Psychology and neuroscience perspectives on embodiment and nonverbal communication. Neural Netw 2010, 23: 1077.

[We15] Weber, K.: MEESTAR: Ein Modell zur ethischen Evaluierung sozio-technischer Arrangements in der Pflege- und Gesundheitsversorgung. In: Weber, K.; Frommeld, D.; Manzeschke, A.; Fangerau, H. (Hg.): Technisierung des Alters – Beitrag zu einem guten Leben?, Stuttgart (Steiner) 2015, S. 247–262.

[Wh14] Whitehill, J.; Serpell, Z.; Lin, Y. C.; Foster, A.; Movellan, J. R.: The Faces of Engagement: Automatic Recognition of Student Engagementfrom Facial Expressions. *IEEE Transactions on Affective Computing*, Vol. 5, Nr. 1, S. 86-98, 2014.

[Zo17] Zoerner, D.; Moebert, T.; Lucke, U: IT-gestütztes Training sozio-emotionaler Kognition für Menschen mit Autismus. erscheint in: Informatik Spektrum, 2017.

CDG – Competence Developing Games

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 383

WS04 CDG – Competence Developing Games

Martin R. Wolf[1] und Johannes A. König[1]

Seit Jahren wird unter den Begriffen Gamification oder Serious Games die Frage diskutiert, wie (Computer-)Spiele dazu eingesetzt werden können, um beispielsweise die Effektivität zum Beispiel von Prozessen zu steigern. Die wissenschaftliche Untersuchung dieses Themas ist noch nicht abgeschlossen. Dies belegt die Tatsache, dass derartige Spiele noch keinen breiten Einzug in die betriebliche Praxis gefunden haben. Mit dem Begriff der Competence Developing Games (CDG) soll diese Diskussion nun auf einem breiteren Feld und unter Einbeziehung von neuen und bislang unberücksichtigten Aspekten geführt werden. Theoretische Konzepte und Modelle sind dabei ebenso wichtig wie ganz individuelle und praktische Erfahrungen. Dabei umschließt der Überbegriff CDG nicht nur videospielbasierte Methoden, sondern jede Art von Bildungsmaßnahmen die spielbasiert durchgeführt werden und einen Kompetenzerwerb der spielenden Person(en) zum Ziel hat. Dazu zählen u. a. der Einsatz von Gamification, Serious Games, Planspiele, Brettspiele, Edutainment-Spiele, etc., solange der Spielzweck im Kompetenzerwerb der Spieler liegt. Klassische E-Learning Angebote, sofern sie nicht um spielerischen Aspekten angereichert worden sind, zählen hingegen nicht als CDG, da es sich nicht um Spiele im klassischen Sinne handelt.

Im Workshop sollen nicht nur neue Konzepte, Theorien, oder praktische Erfahrungen vorgestellt werden, sondern auch ein gemeinsames Verständnis darüber erarbeitet werden, wie die vorgestellten Beiträge inhaltlich und methodisch zusammenhängen. Ziel ist eine wissenschaftlich sowie praktisch Betrachtungsweise der Spieltypen, die durch den Überbegriff CDG gebündelt werden.

Der Workshop enthält einen Theorie- und einen Praxisteil. Der Theorieteil bietet Raum für Beiträge über neue Theorien, Modelle, Frameworks, Studienergebnisse, Modellierungs- und Entwicklungsansätze, Evaluationen etc. Im Praxisteil soll hingegen ein Eindruck über aktuelle und praktische CDG-Ansätze vermittelt werden. Hier bietet sich die Möglichkeit, konkrete Spiele vorzustellen. Dabei sind auch durchaus Beiträge zu Spielen erwünscht, wenn sich diese noch in einem Prototypen-Zustand befinden.

[1] FH Aachen, Labor für IT Organisation und Management, Eupener Str. 70, 52066 Aachen,
(m.wolf)(koenig)@fh-aachen.de

doi:10.18420/in2017_31

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 385

Competence Developing Games – Ein Überblick

Martin R. Wolf[1] und Johannes A. König[1]

Abstract: Es existieren verschiedenste Arten von Spielen, die versuchen, die Motivation einer Spielsituation in einen ernsten Kontext zu überführen. In diesem Artikel wird der Überbegriff „Competence Developing Games" definiert und anhand von Beispielen erläutert. Dafür werden Erkennungskriterien vorgestellt, entsprechende Spieltypen erläutert und eine Zuordnung durchgeführt.

Keywords: Competence Developing Game, Serious Games, Education, Gamification, Bewertungsframework

1 Einleitung

Der Verwendung von Spielkonzepten für Lehrzwecke bietet bei sorgfältiger Anwendung den Vorteil, dass die Motivation, welche die Spielsituation mit sich bringt, in den Lernkontext übertragen werden kann [Sa11]. Die Spielumgebung bietet zudem einen sicheren Raum, in dem fehlerhafte Entscheidungen keine Auswirkung auf das persönliche Umfeld, das Geschäftsumfeld oder die eigene Gesundheit bzw. die Gesundheit Anderer haben. Die Spieler können also gefahrlos Verhaltensweisen oder Strategien ausprobieren [KK96], um bewusst die Auswirkung einer vermeintlichen Fehlentscheidung zu evaluieren. Die übliche Betrachtungsweise sieht vor, diese Art von Spielen unter verschiedenen Oberbegriffen zu gruppieren. Dabei sind vorrangig die Begriffe „Serious Games", „Planspiele" und „Gamification"-Anwendungen zu nennen [KW16a]. Darüber hinaus finden auch die Begriffe „E-Learning", „Edutainment" und „Game-Based-Learning" Beachtung.

In einer Vielzahl von wissenschaftlichen Veröffentlichungen werden Definitionen für einen oder mehrere der genannten Begriffe versucht. Dabei werden in Abhängigkeit der Autoren Diversitäten herausgearbeitet oder Singularitäten gesucht, eine einheitliche Begriffsdefinition liegt jedoch nicht vor [KW16b]. Grundsätzlich erscheint eine Differenzierung zwischen den Begrifflichkeiten sowohl aus einer praktischen als auch aus einer wissenschaftlichen Sichtweise nicht sinnvoll. Mit Ausnahme des E-Learnings ist es die grundlegende Idee aller erwähnten Konzepte, Spielelemente in ein kompetenzförderndes Spiel zu integrieren. Aus diesem Grund ist es naheliegend, Spielkonzepte in Abhängigkeit des jeweiligen Anwendungsfalls konfundieren zu können, um so ein für den Anwendungsfall optimal geeignetes fusioniertes Konzept zu erhalten. Zudem sollten die Spielkonzepte aus wissenschaftlicher Sicht einheitlich behandelt werden, um eine

[1] FH Aachen, Labor für IT Organisation und Management, Eupener Str. 70, 52066 Aachen,
(m.wolf)(koenig)@fh-aachen.de

doi:10.18420/in2017_32

gemeinsame Forschungsgrundlage zu erarbeiten und die Grenzen der Forschungsfelder aufzuweichen. Der Begriff Competence Developing Game (CDG) stellt die Grundlage für eine konsolidierte Betrachtungsweise dar und fokussiert die beschriebenen Gemeinsamkeiten der Spielkonzepte:

„A Competence Developing Game (CDG), is a game that has the primary purpose to teach knowledge, skills and personal, social and/or methodological abilities, in work or study situations and in professional and personal development of the game player, by retaining the motivation of a gaming situation.“ [KW16a].

2 CDG-Erkennungskriterien

Unter einem Computerspiel oder auch Videogame/Videospiel wird im Allgemeinen „a mental contest, played with a computer, according to certain rules for amusement, recreation, or winning a stake” [Zy05] verstanden.

Bing Gordon, der Chief Creative Officer von Electronic Arts, definiert Videospiele als Geschichte, Kunst und Software [Zy05]. Allerdings zeigen Entwicklungen, die der Smartphone-Spiele Markt in den letzten Jahren kreiert hat, dass die Geschichte für ein Videospiel, ähnlich zum Brettspiel, kein Erkennungsmerkmal mehr sein muss. Es existieren Videospiele, die keine klassische Geschichte mehr aufweisen und den Spielspaß ausschließlich über ihre Game-Mechanik erzeugen (bspw.: Angry Birds, Candy Crush Saga, Fruit Ninja, etc.). Die von Gordon definierten Videospielkriterien werden unter Beachtung dieser Einschränkung auch von CDGs erfüllt. In dem Kontext ist allerdings zu beachten, dass manche CDGs klassische Spielmaterialen (z.B. Spielkarten, Spielfelder, Anleitungen, etc.) anstatt von programmierter Software einsetzen, bzw. die Aspekte kombinieren. Zudem weist jedes CDG einen pädagogischen Aspekt auf, welcher essentiell ist, um Kompetenzerwerb beim Spieler zu erzielen. Dieser pädagogische Aspekt differenziert das CDG vom Computerspiel/Brettspiel. Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass ein CDG die folgenden Bestandteile aufweist:

1. (Geschichte)
2. Kunst
3. Software / Spielmaterial
4. Pädagogischer Aspekt

Die genannten vier Bestandteile sind stark generalisiert, sodass eine Vielzahl von Spieltiteln diesen Kriterien entspricht. Amann [Am17] beschäftigt sich im Kontext einer CDG-Katalog-Erstellung mit Erkennungskriterien für CDG-Titel. Die von ihm aufgestellten Kriterien dienen dazu, evaluieren zu können, ob ein gerade betrachtetes Spiel in die Rubrik der CDG einzuordnen ist. Dabei konzentriert er sich vornehmlich auf die pädagogischen Aspekte, die ein CDG aufweist. Seine Erkennungskriterien können damit als Detaillierung des vierten CDG-Bestandteils angesehen werden. Da gerade dieser

Bestandteil die Differenzierung zu konventionellen Spielen zulässt, erscheint eine weitere Ausgestaltung der Bestandteile 1-3 verzichtbar. Damit bleiben die Bestandteile 1 bis 3 unverändert und der vierte CDG Bestandteil zeigt sich wie folgt:

4. Pädagogischer Aspekt
   a) Ein CDG muss Wissen, Kenntnisse und persönliche, soziale oder methodische Fähigkeiten vermitteln.
   b) Ein CDG bezieht sich auf eine Arbeits- oder Bildungs- Situation.
   c) Der CDG Spieler soll sich persönlich oder beruflich/fachlich weiterentwickeln.
   d) Ein CDG nutzt die Motivation aus der Spielewelt.

[Am17]

Der Punkt b lässt in diesem Kontext Interpretationsspielraum offen, ist aber so zu interpretieren, dass explizit nur eine Arbeits- oder Bildungssituation, die in der Realität vorliegt, das Kriterium erfüllt. Damit werden Spiele ausgeschlossen, die ein pädagogisches Konzept aufweisen, um für die Spieldurchführung relevante Fähigkeiten während des Spielverlaufs zu vermitteln, wenn diese Fähigkeiten sich nicht auch auf reale Arbeits- oder Bildungssituationen beziehen. Diese Annahme deckt sich mit dem „Pyramid Assessment Framework for ‚Competence Developing Games'" in dem postuliert wird, dass jedem CDG ein Problem aus dem realen Leben zu Grunde liegt, bei dessen Lösung es unterstützen soll [KW16b]. Dementsprechend wird der Punkt 4b in 4b' abgewandelt, um die Problematik der missverständlichen Formulierung aufzulösen:

4. Pädagogischer Aspekt
   b'. Ein CDG bezieht sich auf ein Problem aus dem realen Leben.

3 CDG Spieltypen

Folgende Spieltypen können anhand der im zweiten Abschnitt erarbeiteten Kriterien in eine der CDG-Kategorien zugewiesen werden. Die in runden Klammern stehenden Zahlen beziehen sich dabei direkt auf die Kriterien des zweiten Abschnittes.

Ein Spiel, im CDG Kontext oftmals als **Entertainment Game** bezeichnet, wird primär aus Unterhaltungszwecken gespielt, was einen Lernprozess jedoch nicht grundsätzlich ausschließt [LST09]. Dabei kann ein solches Spiel digital oder analog realisiert worden sein. Unabhängig von der Umsetzung wird es ausschließlich zu Unterhaltungszwecken gespielt und weißt keine pädagogischen Aspekte auf (4b'), welche sich auf ein Problem aus dem realen Leben beziehen. Demnach sind Entertainment Games nicht als CDG zu klassifizieren.

E-Learning ist ein Konzept, welches sich mit dem computergestützten Lernen beschäftigt

[SJB05]. Dabei werden interaktive Technologien eingesetzt, das Lernen geschieht jedoch auf Distanz [LST09]. Grundsätzlich handelt es sich beim E-Learning um eine digitale Version des Lernens, aber nicht im klassischen Sinne um ein Spiel. E-Learning Lösungen wie z.B. ein Online-Vokabeltrainer, sind oftmals nicht künstlerisch umgesetzt (2) und versuchen nicht die Motivation einer Spielsituation zu nutzen (4d). Damit sind klassische E-Learning Angebote ebenfalls nicht als CDG zu klassifizieren.

Edutainment bezeichnet einen Mix aus Entertainment, also Unterhaltung, und Education, also Bildung. Die Begrifflichkeit war in den 90er Jahren sehr beliebt, die Angebote richteten sich hauptsächlich an Kinder [SJB05]. Der Fokus liegt beim Edutainment vor allem auf der Vermittlung von Themen aus dem schulischen Kontext, wie Mathematik, Chemie, Sprachen etc.. Edutainment Titel nutzen i.d.R. den Spielteil als Belohnung für vorher erfolgtes und erfolgreiches Lernen. Die Lerninhalte sind also nicht Bestandteil des eigentlichen Spielens. Um Wissen zu vermitteln, enthalten Edutainment-Titel oft eine ausgeprägte Lernkomponente, bei der die motivierende Dynamik des eigentlichen Spielgeschehens fehlt [LST09]. Titel dieser Art wurden häufig als langweilig beschrieben [SJB05]. Unabhängig von der Qualität der Edutainment-Titel erfüllen Spiele dieser Art grundsätzlich die im 2. Abschnitt beschriebenen Anforderungen, es handelt sich also um CDGs. Edutainment-Titel werden „gestaltet“, was eine gewisse künstlerische Ausprägung erfordert (2), und es existiert ein pädagogisches Konzept, welches versucht, die Motivation der Spielsituation auszunutzen (4). Zudem handelt es sich um Software-Produkte (3). Dennoch weisen Titel dieser Art oftmals Motivationsschwächen auf, da Edutainment-Titel durch den Bruch zwischen Spielen und Lernen die Spielmotivation oftmals nur unzureichend in den Lernkontext überführen.

Game-Based Learning (GBL) wird z.T. als Zweig der Serious Games gesehen, die ein fest definiertes Lernergebnis aufweisen [SJB05]. In der Praxis werden die Termini „Edutainment“, „Game-Based Learning“ und „Serious Games“ häufig als Synonym verwendet [LST09], was unterstreicht, dass eine Differenzierung in der Gesamtheit als verzichtbar betrachtet werden kann. Alle drei Arten von Spielen fallen in die CDG-Kategorie, da die Kriterien des 2. Abschnittes erfüllt werden.

Für **Serious Games** ist es entscheidend, dass sie die gleichen Eigenschaften aufweisen, die auch für Entertainment-Titel charakteristisch sind (1,2,3), wie z.B. einen hohen Motivationsgrad und eine ausdifferenzierte Spielumgebung [LST09]. Die gängigen Definitionen von Serious Games sind dabei nur im Detail verschieden. So schreiben Michael & Chen: „The simplest definition of serious games, then, is games that do not have entertainment, enjoyment, or fun as their primary purpose“ [MC05]. Sie ergänzen jedoch anschließend: „That isn’t to say that games under the serious games umbrella aren’t entertaining” [MC05]. Zyda hingegen definiert: „Serious game: a mental contest, played with a computer in accordance with specific rules, that uses entertainment to further government or corporate training, education, health, public policy, and strategic communication objectives” [Zy05]. Damit liefert Zyda eine erweiterte Definition zu dem Ansatz von Michael & Chen, da diese zwar die Unterscheidung zu Entertaiment Games darin sehen, dass Unterhaltung nicht mehr der primäre Zweck eines Serious Games ist,

jedoch offenlassen, wo der Hauptzweck von Serious Games liegt. Hier schafft Zyda mit training, education, etc. gleich mehrere Primäraufgaben, die in Entertainment Games einen untergeordneten oder keinen Stellenwert besitzen. Da diese Primäraufgaben ein pädagogisches Konzept benötigen (4), sind alle CDG-Kriterien erfüllt. Die Terminologie Serious Game ist mutmaßlich der bekannteste Spieletyp unter dem CDG Überbegriff.

Auch **Gesellschaftsspiele und Planspiele** können ein CDG sein, da ein CDG nicht zwangsläufig mit einer Softwareanwendung realisiert werden muss (3). Gerade im Bereich der Ausbildung von Jugendlichen und Kindern existiert ein vielfältiges Angebot kommerziell erfolgreicher Gesellschaftsspiele, die als pädagogisch wertvoll zu erachten sind. Spiele dieser Art besitzen häufig eine minimalistische Geschichte, die im eigentlichen Spielgeschehen kaum präsent ist, aber dafür eine (künstlerisch) aufwändige Spielgestaltung (2) und ein ausgeprägtes pädagogisches Konzept (4). Im Bereich der Erwachsenenbildung haben sich hingegen Planspiele etabliert, die oftmals ein teambasiertes Training anbieten und im Rahmen einer interessanten Hintergrundgeschichte einen hochkomplexen Spieleablauf ermöglichen (bspw.: Apollo 13 – an ITSM case experience, Grab@Pizza – Business IT Alignment in Action, TOPSIM – easyManagement, etc.). Planspiele und Gesellschaftsspiele dieser Art erfüllen demnach die CDG-Kriterien und sind somit als CDG zu klassifizieren.

Die Bedeutung und die Aufmerksamkeit hinsichtlich des Begriffs **Gamification** nahm Mitte 2010 schlagartig zu. Grundsätzlich wurde Gamification bereits seit Anfang 2000 diskutiert, jedoch traten erst Mitte 2010 Gamification-Anwendungen in verschiedensten Bereichen zutage [STT14]. Gamification nutzt die Integration spieltypischer Elemente in Kontexte und Prozesse, die als spielfremd anzusehen sind [Su14]. Eine gängige Definition aus dem Jahr 2011 definiert: „‘Gamification‘ is the use of game design elements in non-game contexts“ [DDKN11]. Anwendungen auf denen eine Gamifizierung durchgeführt wurde, können als CDG kategorisiert werden, wenn sie die im zweiten Abschnitt beschriebenen Kriterien erfüllen. Diese Kriterien erfüllen bspw. einige Fitness Apps. Sie werten sportliche Aktivitäten bspw. um die Möglichkeit auf, Punkte zu sammeln, um mit diesen Medaillen, Auszeichnungen etc. zu gewinnen. Dabei handelt es sich um klassische spielerische Aspekte, welche dem Grundgedanken der Gamification gerecht werden. Die Apps (3) sind oft grafisch aufwändig gestaltet (2), was einem gewissen künstlerischen Anspruch gerecht wird. Sie liegen natürlich in Form von Software vor, erfüllen also auch das dritte Kriterium. Die Apps optimieren bspw. das Laufverhalten, vermitteln damit also methodische Fähigkeiten (4a). Dabei adressieren sie im weitesten Sinne die sportliche Bildung (4b’) und bieten dem Spieler die Möglichkeit der privaten Weiterentwicklung (4c), motiviert durch Spieldesign Elemente (4d) und sind somit als CDG zu betrachten. Anwendungen, die in ähnlicher Art und Weise gamifiziert wurden, können entsprechend ebenfalls als CDG kategorisiert werden. Andere Gamification Anwendungen, die primär monotone Arbeitsabläufe motivieren, ohne diese durch Mitarbeiterschulung weiter zu optimieren (4d erfüllt, 4a, 4b‘, 4c jedoch nicht), können folglich nicht als CDG kategorisiert werden.

4 Schlussfolgerung

In der Vergangenheit haben sich diverse Begrifflichkeiten für Spiele ausgeprägt, die Lerninhalte vermitteln, während sie die Motivation von Spielsituationen nutzen. Diese unterschiedlichen Begriffe fokussieren jedoch auf jeweils spezifische und eingegrenzte Kontexte, wodurch es schwierig ist, vergleichende Analysen zu den unterschiedlichen Konzepten vorzunehmen. Mit der Definition des Begriffs Competence Developing Games ist es nicht nur gelungen, einheitliche wissenschaftliche Betrachtungen verschiedener Spieltypen (Frameworks, Methoden, rechtliche Beurteilung, etc.) vorzunehmen. Aufgrund der systematischen Herleitung des zugrundeliegenden Konzepts von CDG ist es ebenfalls möglich, verschiedene Spieletypen gezielt und effektiv zu kombinieren.

Literaturverzeichnis

[Sa11] Sanchez, E.: Key criteria for Game Desing. France, 2011. [Online]. Available from:http://archives.reseaucerta.org/meet/Key_criteria_for_Game_Design_v2.pdf [retrieved: 03, 2017].

[KK96] Kessels, J. W. M.; Keursten, P.; Smit C. A.: The eight field instrument: analysis framework for training effects. Kessels & Smit, The Learning Company, 1996.

[KW16a] König, J. A.; Wolf, M. R.: A New Definition of Competence Developing Games. In: Proceeding of the Ninth International Conference on Advances in Computer-Human Interactions (ACHI 2016). ThinkMind Digital Library, Venice, Italy, 2016, 95-97.

[KW16b] König, J. A.; Wolf M. R.: The Pyramid Assessment Framework for 'Competence Developing Games'. In: HCI International 2016 – Posters' Extended Abstracts, 18th International Conference on Human-Computer Interaction (HCI International 2016). Springer, Toronto, Canada, 2016, 232-237.

[LST09] Lampert, C.; Schwinge, C.; Tolks, D.: Der gespielte Ernst des Lebens - Bestandsaufnahme und Potenziale von Serious Games (for Health). MedienPädagogik, Zeitschrift für Theorie und Praxis der Medienbildung, Themenheft 15/16: Computerspiele und Videogames in formellen und informellen Bildungskontexten, 2009.

[Zy05] Zyda, M.: From visual simulation to virtual reality to games. IEEE Computer Society (Computer), Volume:38, Issue: 9, 2005, S. 25-32.

[Am17] Amann, K.; Analyse von Diversität und Singularität verfügbarer CDG-Titel (unveröffentlicht). Information Systems Engineering Seminararbeit, Fachhochschule Aachen, 2017.

[SJB05] Susi, T.; Johannesson, M.; Backlund, P.: Serious Games - An Overview. Technical Report HS-IKI-TR-07-007, School of Humanities and Informatics, University of Skövde, Sweden, 2005.

[MC05] Micheal, D. R.; Chen, S. L.: *Serious Games - Games That Educate, Train, and Inform.* Muska & Lipman/Premier, 2005.

[STT14] Shauchenka , N.; Ternès, A.; Towers, I.: Gamification. In A. Ternès, & I. Towers, Internationale Trends in der Markenkommunikation. Wiesbaden: Springer, 2014.

[Su14] Schulten, M.: Gamification in der Unternehmenspraxis: Status quo und Perspektiven. In D. D. e.V, Dialogmarketing Perspektiven 2013/2014. Wiesbaden: Springer, 2014.

[DDKN11] Deterding, S.; Dixon, D.; Khaled, R.; Nacke, L.: From game design elements to gamefulness: defining "gamification". Proceedings of the 15th International Academic MindTrek Conference: Envisioning Future Media Environments. Finland: ACM, 2011.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 393

Gamification: Konzepte und Anwendungsfelder – eine quantitative Metaanalyse

Axel Jacob[1] und Frank Teuteberg[2]

Abstract: Gamification ist ein moderner Ansatz, um das Engagement von Menschen zu erhöhen, indem der menschliche Spieltrieb aktiviert wird. Komplexe Aufgaben benötigen eine hohe Aufmerksamkeit, die durch den Einsatz von Spielelementen leichter erreicht werden kann. Der Spieltrieb des Menschen lässt sich in verschiedenen Anwendungsfeldern nutzbringend einsetzen. Derzeit liegen aber nur wenige aussagekräftige Untersuchungen über die bestehenden Anwendungsfelder vor. In diesen Arbeiten weisen die Autoren selbst auf die Notwendigkeit weiterer Analysen zwecks Validierung der Ergebnisse hin. Die hier vorliegende Arbeit greift dies auf. Mittels einer quantitativen Textanalyse wird eine hohe Anzahl von Beiträgen zum Thema Gamification untersucht und über eine Clusteranalyse Anwendungsfelder eruiert. Dadurch werden bereits bestehende Erkenntnisse validiert und gleichzeitig eine neue Perspektive auf das Themengebiet eröffnet.

Keywords: Gamification, Anwendungsfelder, Literaturreview, Metaanalyse

1 Einleitung

Durch den Einsatz von Gamification soll in den unterschiedlichsten Anwendungsfeldern das Aneignen von Wissen verbessert, die Leistungsbereitschaft erhöht oder das Verhalten beeinflusst werden [HKS14]. Es existieren viele Fallbeispiele, die Anwendungsmöglichkeiten beschreiben, aber nur wenig Übersichtsarbeiten zu Anwendungsfeldern [HKS14], [Mo15], [SA15], [US14].

Ziel dieser Arbeit ist es, einen Überblick über die Anwendungsfelder von Gamification zu erhalten und die Ergebnisse bisheriger Übersichtarbeiten mit einer anderen Methodik zu validieren. Dabei sollen nicht nur die explizit genannten Anwendungsfelder der untersuchten Texte beschrieben werden, sondern mittels einer Untersuchung der bestehenden Kookkurrenzen auch diejenigen, die implizit bestehen. Um dieses Ziel erreichen zu können, sollen folgende Forschungsfragen beantwortet werden:

FF1: Zusammen mit welchen Terminologien wird Gamification in Veröffentlichungen diskutiert?

[1] Hochschule Osnabrück, Fakultät Wirtschafts- und Sozialwissenschaften, Caprivistr. 30a, 49076 Osnabrück, a.jacob@hs-osnabrueck.de
[2] Universität Osnabrück, Unternehmensrechnung und Wirtschaftsinformatik, Katharinenstr. 1, 49074 Osnabrück, frank.teuteberg@uni-osnabrueck.de

doi:10.18420/in2017_33

FF2: Welche Cluster lassen sich aus den identifizierten Terminologien bilden und welchen Anwendungsfeldern lassen sich die identifizierten Cluster zuweisen?

Zur Beantwortung dieser Fragen wird nachfolgend in Abschnitt 2 zuerst ein kurzer Einblick in das Themengebiet Gamification gegeben. Im Anschluss wird in Abschnitt 3 der methodische Ansatz zur Beantwortung der Forschungsfragen beschrieben. Folgend werden in Abschnitt 4 die Ergebnisse der Untersuchungen dargestellt und diskutiert. Abschließend wird in Abschnitt 5 ein Fazit gezogen, in dem Implikationen aufgezeigt und Limitationen benannt werden.

2 Theoretischer Hintergrund und Abgrenzung

2.1 Gamification

Gamification macht sich den Spieltrieb des Menschen zunutze und versucht, die Konzentration und das Engagement einer Person auf eine bestimmte Aufgabe zu lenken [AR12]. Idealerweise können so einerseits Lernerfolge erzielt und andererseits die Motivation zur bestmöglichen Bewältigung der Aufgabe gesteigert werden [HH12]. Wesentlich beim Gamification ist der Einsatz von Elementen, die auch in herkömmlichen Computerspielen zu finden sind. Deterding et al. definieren ebenso auch den Begriff: „Gamification is the use of game design elements in non-game contexts“ [De11]. Der Begriff Gamification wird auch vermehrt im Kontext von sozialem Verhalten diskutiert, da soziale Interaktionen zu stärken eine grundsätzlich positive Eigenschaft des Gamifications ist [HKS14]. So bietet Gamification zusätzlich zur (rudimentären) Vermittlung von deklarativem Wissen die Möglichkeiten, soziales Verhalten a) zu beschreiben und zu erklären, b) zu erlernen sowie c) zu beeinflussen [HCA13].

2.2 Abgrenzung zu verwandten Arbeiten

Übersichtsstudien zum Thema Gamification sind selten. Die durchgeführten Studien befassen sich vorrangig mit der Begriffsdefinition und den Inhalten des Gamifications. Mora et al. [Mo15] stellen ein Rahmenkonzept für die Gestaltung von Gamification auf. Dabei untersuchen sie 18 Veröffentlichungen, entwickeln eine dreidimensionale Perspektive auf Gamification, definieren 19 Design-Elemente und clustern diese in fünf Gruppen. Uskov und Serkar [US14] bauen auf Basis von 60 untersuchten Fallstudien Klassifikationen zum Einsatz von Serious Games [SS08] in Unternehmen sowie zu Elementen des Gamifications und Plattformen für Serious Games auf.

Eine detaillierte Untersuchung zum Gamification ist bei Hamari et al. zu finden [HKS14]. In ihrer Studie werden peer-reviewed empirische Studien untersucht, um ein Framework zum Begriff Gamification aufstellen zu können. Bedeutend für diese Arbeit sind die dabei

erarbeiteten Kategorien: Motivational affordances, Psychological and behavioral outcomes, Reported results, Context of gamification (Commerce, Education/learning, Health/exercise, Intra-organizational systems, Sharing, Sustainable Consumption, Work, Innovation/ideation, Data gathering) und Types of studies.

Schlagenhaufer und Amberg bieten eine detaillierte deskriptive Studie zum Einsatz von Gamification in der Wirtschaftsinformatik [SA15]. Das Ergebnis ihrer Arbeit ist ein Klassifikationsrahmen mit vier Haupt- und 19 Subkategorien. Die Kategorien lauten Application Area (Computer Aided Design, Collaborative Work System, Education, Health, Manufacturing & Production, Marketing), Conceptualizing Issues (Definition, Design, Development Methods and Tools, Types), Management Issues (Evaluation, Integration, Planning Objectives, User Behavior, User Requirements, User Types) und Theoretical Issues (Behavior, Motivation, Research).

Hamari et al. weisen auf einen erschwerten wissenschaftlichen Diskurs hin, da nur wenige Übersichtsarbeiten zum Thema Gamification bestehen und ein Mangel an Metaanalysen sowie insbesondere an quantitativen Studien vorliegt [HKS14]. Schlagenhaufer und Amberg folgen dieser Argumentation und befürworten ebenfalls quantitative Übersichtsstudien [SA15]. Des Weiteren fordern sie dazu auf, die Ergebnisse ihrer Studie auf Basis weiterer Daten zu überprüfen und ggf. zu erweitern. Dabei verweisen sie ausdrücklich auf die Vorteilhaftigkeit der Untersuchung von weniger hoch gerankten Journals sowie von Konferenzen, weil diese eher aktuelle Trends widerspiegeln und somit die dynamische Entwicklung junger Themengebiete besser erfasst werden kann [Fe06].

3 Methodik

3.1 Aufbau der Untersuchung und Beschreibung der Stichprobe

Um einen Überblick gewinnen zu können, in welchen Kontexten der Begriff Gamifi-cation angewandt und diskutiert wird, wurde im ersten Schritt ein Literaturreview durchgeführt. Nach Fettke handelt es sich um ein mathematisch-statistisches Review, dessen Fokus auf der Betrachtung bereits erzielter Forschungsergebnisse sowie gemachter Erfahrungen der jeweiligen Autoren liegt [Fe06]. Das Ziel ist eine Zusammenfassung der zentralen Themen des Forschungsgebiets Gamification.

Bei der dem Review zugrunde liegenden Literatur handelt es sich um die Ergebnisse einer im August 2016 vorgenommen Suche in den Datenbanken ACM, AIS Electronic Library und IEEE. Durch diese Vorgehensweise soll sichergestellt werden, dass die relevanten Arbeiten zum Untersuchungsbereich in das Review einfließen [WW02]. Eine direkte Suche in den Datenbanken führender Journals hat nicht stattgefunden. Gesucht wurde nach dem Begriff „Gamification“, der mindestens in einem der drei Suchbereiche Titel, Abstract und/oder Keywords vorkommen musste. Dieser selektive Umfang der Literatur

spiegelt somit eine Übersicht zu allen in den o.g. Datenbanken vorliegenden Arbeiten wider, bei denen Gamification eine zentrale Rolle einnimmt und nicht nur im peripheren Kontext eines anderen Themas beschrieben wird. Eine zeitliche Beschränkung der Suchergebnisse wurde nicht vorgenommen. Dubletten sowie nicht in Englisch verfasste Texte wurden aussortiert, sodass 485 relevante Texte vorlagen.

Die Beschränkung auf englischsprachige Texte stellt auf den ersten Blick eine mögliche Limitation dieser Arbeit dar, ist aber im Hinblick auf die softwarebasierte Analyse zielführend. Durchgeführte Stichprobenanalysen haben gezeigt, dass durch das Einbeziehen deutschsprachiger Publikationen keine neuen bzw. veränderten Cluster entstehen würden, sondern sich lediglich die bestehenden Begriffsblasen vergrößern bzw. englisch-deutsche Wortdubletten entstehen würden. Abb. 1 zeigt die Verteilung der gefundenen Ergebnisse auf Erscheinungsjahre und Datenbanken.

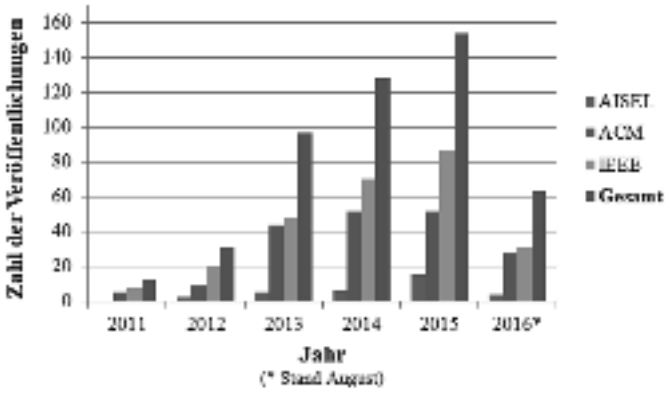


Abb. 1: Verteilung der Literatur-Stichprobe

Aufgrund der starken Steigerungsraten der jährlichen Publikationen wird ersichtlich, dass das Thema derzeitig eine hohe Relevanz aufweist. Da für 2016 nur der Stand bis August berücksichtigt werden konnte, fällt die Anzahl an Veröffentlichungen in der Abbildung für 2016 geringer aus. Eine im März 2017 erneut durchgeführte Abfrage ergab, dass in 2016 insgesamt 213 Veröffentlichungen erschienen sind (AISEL: 14, ACM: 76 und IEEE: 123).

3.2 Quantitative Datenanalyse

Um Ähnlichkeiten in den vorliegenden Texten erkennen zu können, wurden diese einer quantitativen Inhaltsanalyse unterzogen. Quantitative Inhaltsanalysen bieten den Vorteil, dass große Datenmengen verarbeitet werden können und gleichzeitig eine „intersubjektiv nachvollziehbare Beschreibung“ [Ra08] vorgenommen werden kann. Gleichzeitig ist jedoch anzumerken, dass bei einer quantitativen Inhaltsanalyse Unschärfen auftreten können, da z.B. identische Wörter in unterschiedlichen Wortfolgen einen jeweils anderen

Aussagewert besitzen [RA04]. Um dieser Problematik begegnen zu können und eine möglichst hohe Transparenz innerhalb des Analyseverfahrens erzielen zu können, wurde in dieser Arbeit eine strukturierte Vorgehensweise aufgestellt und die spezialisierte Textanalyse-Software WordStat, die eine Erweiterung des QDA-Miners darstellt, verwendet [WM06].

4 Ergebnisse und Diskussion

4.1 Weitverbreitete Wortstämme im Gamification-Kontext

Zur Beantwortung der ersten Forschungsfrage, mit welcher Terminologie der Begriff Gamification diskutiert wird, kann Tabelle 1 herangezogen werden.

No	Term	FREQUENCY	NO. CASES	% CASES
1	EXPERI	9813	391	80,60%
2	MOTIV	4678	389	80,20%
3	ACTIV	4820	373	76,90%
4	ENGAG	7981	361	74,40%
5	APP	4362	358	73,80%
6	REQUIR	1887	353	72,80%
7	LEARN	6017	350	72,20%
8	INNOVATIV	3035	347	71,50%
9	PERFORM	2547	341	70,30%
10	INTERAC	3490	333	68,70%
11	GROUP	2869	331	68,20%
12	SOCIAL	3084	324	66,80%
13	COMBIN	3992	324	66,80%
14	INITIAV	3391	306	63,10%
15	FEEDBACK	3619	302	62,30%
16	KNOWLEDG	3548	300	61,90%
17	TECHNOLOG	3993	294	60,60%
18	REWARD	1904	291	60,00%
19	INDIVIDU	3523	289	59,60%
20	MANAG	7375	285	58,80%
21	STUDENT	6267	251	51,80%
22	PSICOLOG	870	249	51,30%
23	ONLIN	3939	247	50,90%
24	SCIEN	3547	241	49,70%
25	CONTENT	3163	242	49,90%

No	Term	FREQUENCY	NO. CASES	% CASES
26	ROLE	768	242	49,90%
27	ORGAN	895	239	49,30%
28	COMPUTER	811	239	49,30%
29	COMMUN	917	235	48,50%
30	SKILL	1290	226	46,60%
31	STIMATING	1047	224	46,20%
32	EXPLAIN	584	222	45,80%
33	DESIR	917	220	45,40%
34	SOFTWAR	1150	219	45,20%
35	HUMAN	845	216	44,50%
36	PROGRAM	975	213	43,90%
37	FRAMEWORK	1396	212	43,70%
38	VIRTUAL	1082	211	43,50%
39	MOTIV.	1557	208	42,90%
40	RESOURC	722	206	42,50%
41	VISUAL	915	205	42,30%
42	EMPLOY	990	202	41,60%
43	VIDEO	980	198	40,80%
44	WEB	767	198	40,80%
45	PUBLIC	799	198	40,80%
46	UNIVERS	613	198	40,80%
47	NETWORK	889	197	40,60%
48	LIFE	650	194	40,00%
49	THEORI	951	190	39,20%
50	TRAIN	837	187	38,60%

Tab. 1: Begriffe mit den Textfallzahlen

Die aufgeführten Begriffe stellen eine Übersicht zu den 50 häufigsten Wortstämmen im Kontext von Gamification dar. Wortstämme wie z.B. GAMIF oder GAME, die zur Benennung des Begriffes Gamification benutzt werden, wurden bei dieser Aufstellung nicht berücksichtigt. Die Sortierung der Begriffe erfolgt auf Basis der Anzahl der Texte, in denen der Wortstamm benutzt wurde und nicht auf Basis der Gesamthäufigkeit des Wortstamms innerhalb der gesamten Stichprobe.

Ein bemerkenswerter Aspekt ist, dass nahezu kein Wortstamm in der Liste enthalten ist,

der eine negative Sichtweise auf das Gamification zum Ausdruck bringt. Der erste als negativ interpretierbare Wortstamm (CRITIC) erscheint an 71. Stelle und ist in 160 Beiträgen zu finden. Weitere negativ assoziierte Wortstämme werden selten verwendet. So kommt der Wortstamm CHEAT in lediglich 35 Texten (7,2%) vor. Generell können nahezu alle Wortstämme durch den Kontext eine negative Einstellung zum Ausdruck bringen, dies kann in den untersuchten Texten nicht ausgeschlossen werden. Gleiches gilt allerdings auch für negativ konnotierte Wortstämme. Unter der Annahme, dass sich die beiden Effekte ausgleichen, kann festgestellt werden, dass die Einstellungen der unterschiedlichen Autoren der untersuchten Texte bis auf wenige Ausnahmen sehr positiv sind. Eine kritische Haltung gegenüber dem Gamification kommt nur selten zum Ausdruck. Risiken von Gamification lassen sich in die Bereiche Ablenkung, Attraktivitätsverlust, Betrug und Privatsphäre gruppieren [TLB14]. Unter Ablenkung ist zu verstehen, dass Gamification-Elemente zu attraktiv sind und vom Erledigen der eigentlichen Aufgabe ablenken [BL13]. Im Gegensatz dazu können monotone bzw. zu simple Gamification-Elemente eine Abneigung gegenüber der Aufgabenerledigung erzeugen. [NL13]. Das Betrugsrisiko entsteht, wenn Teilnehmer aufgrund von unklaren Regeln oder Lücken in der Spiellogik betrügen. Dies führt zu einer negativen Einstellung der anderen Teilnehmer [ZC11]. In den meisten Fällen werden durch Gamification-Anwendungen personenbezogene Daten erzeugt, wodurch ein Überwachungsgefühl bei den Teilnehmern oder Konflikte mit dem Datenschutz entstehen können [RR09].

4.2 Identifikation von Wortstamm-Clustern

Bei der Betrachtung der Häufigkeiten der Wortstämme bleibt unklar, inwieweit diese Begriffe jeweils abgrenzbare Themengebiete ergeben. Durch eine Untersuchung der Kookkurrenzen können einerseits Anwendungsfelder des Gamifications dargestellt und andererseits implizite Strukturen der untersuchten Texte erkannt werden. Mit Hilfe einer 2D-Konzptkarte[3] wurden die ermittelten Wortcluster visualisiert. Begriffe werden dabei als Blase dargestellt, wobei die Größe der Blase die kumulierte Häufigkeit des Begriffs, bezogen auf alle untersuchten Publikationen visualisiert. Die Nähe der einzelnen Blasen zueinander beschreibt die Häufigkeit, mit der die jeweiligen Begriffe gemeinsam auftreten. Gleichfarbige Blasen bilden dabei Gruppen, die aufgrund ihrer Kookkurrenz als solche identifiziert werden. Sie dienen der Beantwortung der zweiten Forschungsfrage.

Deutlich abgrenzbar sind neun größere sowie zwei kleinere Cluster, die jeweils als eine Ausprägung angesehen werden können. Cluster 1 ist der größte Cluster und beinhaltet Wortstämme, die zur Begriffsdefinition sowie zur Beschreibung der technologischen Umsetzung (z.B. Verwendung mobiler Endgeräte und Apps [Ch14]) benutzt werden. Aus diesem Grund ist dieser Cluster (nicht alle Wortstämme) in allen analysierten Arbeiten vertreten. Die zentralen Wortstämme bilden die größten Blasen und überlappen sich. Eine Limitation stellt die Ambivalenz einiger Wortstämme dar. Ein Beispiel ist der Wortstamm

[3] Die vollständige 2D-Konzeptkarte kann über diese URL abgerufen werden: http://tinyurl.com/j439j5x.

EXPERI. Er beinhaltet einerseits den Begriff Experiment, der eher auf die Art der Evaluation der jeweiligen Studie hinweist, andererseits aber auch den Begriff Experience, welcher den Effekt des Gamification auf die Anwendergruppe beschreibt. Es wird ersichtlich, dass eine Trennung von Wortstämmen, die zur Begriffsdefinition benutzt werden, und Wortstämmen, die den Kontext beschreiben, aufgrund von Überschneidungen schwierig ist.

Im zweiten Cluster sind Wortstämme zum Bereich Bildung zusammengefasst. Der Einsatz des Gamifications in diesem Anwendungsfeld ist mittlerweile breit diskutiert worden. Es kann auf eine Vielzahl von Veröffentlichungen und Erfahrungen in diesem Bereich zurückgegriffen werden. Die Veröffentlichungen befassen sich sowohl mit der schulischen Bildung [TFF14], als auch mit dem Einsatz in der universitären und Erwachsenen-Bildung [Co14]. Irritierenderweise befindet sich der Wortstamm STUDENT nicht in diesem Cluster, sondern in dem ersten Cluster. Die Ursache dieser inhaltlichen Falschzuweisung liegt in der engen Verknüpfung des Wortstamms mit weiteren Wortstämmen (LEARN, EXPERI, SKILL und GROUP), die fest in Cluster 1 verankert sind (vgl. exemplarisch für die Verknüpfung der Wortstämme [CM16]).

Cluster 3 repräsentiert die Anwendung des Gamifications als Hilfsmittel für das Software Engineering.

In den Clustern 4, 8 und 10 werden ökonomische Anwendungsfelder des Gamifications abgebildet. Cluster 4 steht dabei für die Anwendung innerhalb des Personalmanagements, wie bei der Motivation von Mitarbeitern [Ne12] oder der Gewinnung neuer Mitarbeiter [CC13]. Cluster 8 beschreibt die Interaktion mit Kunden. Dies geschieht einerseits bei der Kundenbindung [BL13], andererseits bei der Produktentwicklung, indem Kunden Prototypen mittels Gamification-Anwendungen bewerten sollen [AK15]. In dem eher lose zusammenhängenden Cluster 10 befinden sich Anwendungsfälle zur (monetären) Ressourceneffizienz, vorrangig im Bereich Ökologie [CHR15].

Ähnlichkeiten bestehen auch zwischen den Clustern 5, 7, 9 und 11, die unterschiedliche Perspektiven auf das Teilnehmerverhalten illustrieren. Elemente, die den Antrieb der Teilnehmer psychologisch beschreiben, sind Bestandteile von Cluster 5. Dazu gehört z.B. die Aktivierung von extrinsischer sowie intrinsischer Motivation, die wesentlich bei Gamification-Anwendungen ist [He14]. Wie in Cluster 2 liegt hier eine inhaltliche Falschzuweisung von Wortstämmen vor. Die Wortstämme MOTIV und BEHAV sind aufgrund ihrer engen Verknüpfung mit Wortstämmen wie z. B. SOCIAL und INDIVIDU in Cluster 1 und nicht in Cluster 5 zu finden (vgl. exemplarisch für die Verknüpfung der Wortstämme [YK15]). Inhaltlich eng mit Cluster 5 verbunden ist Cluster 11, in dem Aspekte zur Stimulierung der Teilnehmer beschrieben werden (vgl. z.B. [Si16]). Cluster 7 steht für Bewertungssysteme, mit denen ein Wettbewerb zwischen Teilnehmern initiiert werden kann. Der Inhalt von Cluster 9 sind Ansätze, bei denen das kooperative Verhalten der Teilnehmer untereinander oder auch als Gruppe untersucht wird [Li15].

Cluster 6 repräsentiert den Anwendungsfall Gesundheit. Das Gamification dient hier als Motivator, um gesundheitsdienliche Verhaltensweisen zu fördern. Ein Beispiel ist eine

App, die die Nutzer zu mehr körperlicher Bewegung motivieren soll [YK15].

4.3 Vergleich der Wortstamm-Cluster mit den Referenzarbeiten

Die eruierten Cluster wurden mit den (Sub-) Kategorien von Hamari et al. [HKS14] bzw. Schlagenhaufer und Amberg [SA15] verglichen und in sechs Gruppen eingeteilt (s. Tabelle 2). In Gruppe 1 stimmen die Ergebnisse in allen drei Arbeiten überein. Dabei steht 1a) für eine uneingeschränkte Übereinstimmung der Ergebnisse, 1b) für eine leicht eingeschränkte Übereinstimmung (Interpretation eines Ergebnisses) und 1c) für eine eingeschränkte Übereinstimmung (Interpretation von zwei Ergebnissen). In Gruppe 2 liegt eine Unterstützung eines Ergebnisses vor, d.h. es kommt in zwei Arbeiten vor. 2a) bedeutet dementsprechend eine uneingeschränkte Unterstützung und 2b) eine eingeschränkte Unterstützung. Gruppe 3 beinhaltet alle Ergebnisse, die in keine der vorherigen Gruppen eingeordnet werden konnten.

Gruppen	Anwendungsfelder nach Hamari et al. [HKS14]	Subkategorien nach Schlagenhaufer/Amberg [SA15]	Cluster dieser Arbeit
1a)	Education/learning	Education	Bildung
1a)	Health/exercise	Health	Gesundheit
1a)	Motivational Affordances	Motivation	Motivation der Teilnehmer
		User Requirements	Wettbewerb zwischen den Teilnehmern
1a)	Sharing	Behavior	Kooperationsverhalten der Teilnehmer
	Psychological and behavioral outcomes		
1a)	Intra-organizational systems	Collaborative Work System	
1a)	Commerce	Manufacturing & Production	Kundeninteraktion
		Marketing	
		Computer Aided Design	
1b)	Data gathering	User Behavior	Stimulierung zur Teilnahme
1b)	Sustainable consumption	Planing Objectives	(monetäre) Ressourceneffizienz
1c)	Work		Personalmanagement
2a)		Definition	Gamification als Konzept
		Design	
		Types	
		Integration	
2a)	Reported results	Evaluation	
2a)	Types of studies	Research	
2b)	Innovation/ideation		Software Engineering
3		Development Methods and Tools	
3		User Types	

Tab. 2: Ergebnisvergleich mit den Referenzarbeiten

Der Vergleich zeigt, dass die Cluster Bildung, Gesundheit, Motivation der Teilnehmer, Wettbewerb zwischen den Teilnehmern, Kooperationsverhalten der Teilnehmer sowie Kundeninteraktion uneingeschränkt mit den Referenzarbeiten übereinstimmen.

Der Cluster Stimulierung zur Teilnahme wird bei Hamari et al. [HKS14] indirekt unter dem Aspekt Data gathering beschrieben. Bei dem Cluster (monetäre) Ressourceneffizienz ist die Übereinstimmung mit der Subkategorie Planing Objectives minimal ein-geschränkt. Die Autoren erläutern in ihrer Arbeit diese Subkategorie und nennen u.a. auch den Aspekt Ressourceneffizienz.

Dort wird auch der Einsatz von Gamification in Arbeitsteams genannt. Hamari et al. [HKS14] verweisen auf vergleichbare Kontexte unter der Kategorie Work. Somit besteht insgesamt eine eingeschränkte Übereinstimmung mit dem Cluster Personalmanagement.

Der Cluster Gamification als Konzept wird bei Schlagenhaufer und Amberg [SA15] wesentlich differenzierter beschrieben als in dieser Arbeit. Bei Hamari et al. [HKS14] liegt kein vergleichbarer Aspekt explizit vor, wobei anzumerken ist, dass ihre Studie auf die Effekte und nicht die technische Perspektive ausgerichtet ist. Aus diesem Grund liegt bei dem Cluster Gamification als Konzept eine uneingeschränkte Unterstützung vor.

Eine lediglich eingeschränkte Unterstützung konnte bei dem Cluster Software Engineering festgestellt werden. Obwohl diesem Cluster eine Reihe von Untersuchungen zugewiesen werden können, wird der Cluster in keiner der Referenzarbeiten explizit beschrieben, sondern lediglich bei Hamari et al. [HKS14] im weiteren Sinn aufgegriffen.

Die durch die beiden Referenzarbeiten uneingeschränkt unterstützten Kategorien Reported Results und Evaluation konnten in dieser Arbeit nicht nachgewiesen werden. Gleiches gilt für Types of studies und Research. Dies kann mit dem höheren Abstraktionsgrad der Kategorien, welcher mit der hier angewandten Methodik nicht erfasst werden konnte, begründet werden. Die Subkategorien Development Methods and Tools sowie User Types von Schlagenhaufer und Amberg [SA15] wurden in keiner der anderen beiden Arbeiten angewandt.

5 Schlussbetrachtung und Ausblick

Der Mehrwert sowie die Relevanz der vorliegenden Arbeit sind darin zu sehen, dass sie einen methodischen Triangulationsansatz in Bezug auf die Erkenntnisse der bedeutsamsten Arbeiten zu Gamification-Frameworks darstellt. Mittels Triangulation wird eine Fragestellung mit unterschiedlichen Methoden untersucht, die Ergebnisse verglichen und die Stärken und Schwächen der jeweiligen Analysewege aufgezeigt [Ma16]. Mit Hilfe des durchgeführten Literaturreviews konnten die am meisten verbreiteten Wortstämme im Zusammenhang mit dem Begriff Gamification ermittelt werden. Die Durchführung einer quantitativen Metaanalyse auf Basis von weniger hoch gerankten Journals sowie von Konferenzen ist ein Ansatz, der noch nicht angewandt wurde. Die elf identifizierten Cluster

können zur Klassifizierung von Gamification genutzt werden und bestätigen die Ergebnisse der Untersuchungen von Hamari et al. [HKS14] sowie Schlagenhaufer und Amberg [SA15]. Im Rahmen der Untersuchung wurde darüber hinaus ein bisheriges Forschungsdefizit ersichtlich. Gamification wird weitestgehend ausschließlich positiv beschrieben. Dies deutet darauf hin, dass negative Aspekte wie Ablenkung, Attraktivitätsverlust, Betrug oder Verletzung der Privatsphäre [TLB14] bisher nicht ausreichend untersucht wurden.

Diese Arbeit unterliegt allerdings auch Limitationen. So stellen die für die Analyse benutzten Veröffentlichungen nur einen Ausschnitt der insgesamt vorhandenen Literatur zum Themengebiet Gamification dar. Außerdem ist die Methodik in der hier angewandten Form nur bedingt geeignet, um Forschungsdefizite aufzudecken, weil nur Begriffe berücksichtigt wurden, die in den untersuchten Veröffentlichungen vorkommen. Das Fehlen von Begriffen, die charakteristisch für weitere Themengebiete sind, wurde nicht untersucht. Auch ist die hier angewandte Methodik weniger geeignet, um Kategorien auf einem hohen Abstraktionsgrad zu identifizieren. Beim automatisierten Stemming werden teils ambivalente Begriffe zusammengefasst, und die automatisierte Clusterbildung mittels Algorithmus führt in einzelnen Fällen zu inhaltlichen Falschzuweisungen. Auf eine manuelle Korrektur wurde allerdings bewusst verzichtet, um das Maß an Subjektivität bei der Zuweisung möglichst gering zu halten.

Durch diese Arbeit ist weiterer Forschungsbedarf entstanden. Insbesondere sollten die negativen Aspekte sowie die Grenzen des Einsatzes von Gamification weiter untersucht werden. Ferner sollten weitere (quantitative) Untersuchungen durchgeführt werden, die ein noch breiteres Spektrum an Arbeiten einschließen, um die Ergebnisse von Hamari et al. [HKS14], Schlagenhaufer und Amberg [SA15] sowie dieser Arbeit zu bestätigen.

Literaturverzeichnis

[AK15] Anagnostopoulos, C.; Kalogeras, A. P.: An industrial simulator utilizing a gaming platform: Proceedings of the 20th IEEE Conference on Emerging Technologies & Factory Automation (ETFA). IEEE, 2015; S. 1–5.

[AR12] Anderson, J.; Rainie, L.: Gamification and the Internet: Experts Expect Game Layers to Expand in the Future, with Positive and Negative Results. In Games for health journal, 2012, 1; S. 299–302.

[BL13] Blohm, I.; Leimeister, J. M.: Gamification. In Business & Information Systems Engineering, 2013, 5; S. 275–278.

[CC13] Chow, S.; Chapman, D.: Gamifying the employee recruitment process: Proceedings of the First International Conference on Gameful Design, Research, and Applications, 2013; S. 91–94.

[Ch14] Chin, S.: Mobile technology and Gamification: The future is now!: Proceedings of the Fourth International Conference on Digital Information and Communication Technology and its Applications (DICTAP), 2014; S. 138–143.

[CHR15] Cruz, R.; Hoppen, N.; Rigoni, E. H.: Virtual Business Communities to Improve Symbiotic Resource Sharing: Proceedings of the Twenty First Americas Conference on Information Systems (AMCIS), 2015; S. 1–13.

[CM16] Clerkin, J. H.; Mesmer, B.: Gamification of incentives and mechanism design in systems engineering: Annual IEEE Systems Conference, SysCon 2016, Orlando, FL, USA, April 18-21, 2016, 2016; S. 1–8.

[Co14] Colteli, O. et al.: Designing serious games for learning support in medicine studies: A specific method to elicit and formalize requirements: Proceedings of the IEEE Frontiers in Education Conference (FIE), 2014; S. 1–4.

[De11] Deterding, S. et al.: From game design elements to gamefulness: Proceedings of the 15th International Academic MindTrek Conference, 2011; S. 6–9.

[Fe06] Fettke, P.: State-of-the-Art des State-of-the-Art. Eine Untersuchung der Forschungsmethode „Review" innerhalb der Wirtschaftsinformatik. In WIRTSCHAFTSINFORMATIK, 2006, 48; S. 257–266.

[HCA13] Herranz, E.; Colomo-Palacios, R.; Amescua-Seco, A.: Towards a New Approach to Supporting Top Managers in SPI Organizational Change Management. In Procedia Technology, 2013, 9; S. 129–138.

[He14] Herbert, B. et al.: An Investigation of Gamification Typologies for Enhancing Learner Motivation: Proceedings of the International Conference on Interactive Technologies and Games (iTAG), 2014; S. 71–78.

[HH12] Huotari, K.; Hamari, J.: Defining gamification: Proceeding of the 16th International Academic MindTrek Conference, 2012; S. 17–22.

[HKS14] Hamari, J.; Koivisto, J.; Sarsa, H.: Does Gamification Work? - A Literature Review of Empirical Studies on Gamification: Proceedings of the 47th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS), 2014; S. 3025–3034.

[Li15] Liu, D. et al.: Friendships in online peer-to-peer lending: pipes, prisms, and relational herding. In MIS Quarterly, 2015, 39; S. 729–742.

[Ma16] Mayring, P.: Einführung in die qualitative Sozialforschung. Eine Anleitung zu qualitativem Denken. Beltz, Weinheim, Basel, 2016.

[Mo15] Mora, A. et al.: A Literature Review of Gamification Design Frameworks: Proceedings of the 7th International Conference on Games and Virtual Worlds for Serious Applications (VS-Games), 2015; S. 1–8.

[Ne12] Neeli, B. K.: A Method to Engage Employees Using Gamification in BPO Industry: Proceedings of the Third International Conference on Services in Emerging Markets (ICSEM), 2012; S. 142–146.

[NL13] Nakajima, T.; Lehdonvirta, V.: Designing motivation using persuasive ambient mirrors. In Personal and Ubiquitous Computing, 2013, 17; S. 107–126.

[RA04] Rourke, L.; Anderson, T.: Validity in quantitative content analysis. In Educational Technology Research and Development, 2004, 52; S. 5.

[Ra08] Raithel, J.: Quantitative Forschung. Ein Praxiskurs. VS Verlag für Sozialwissenschaften / GWV Fachverlage GmbH Wiesbaden, Wiesbaden, 2008.

[RR09] Reeves, B.; Read, J. L.: Total engagement. Using games and virtual worlds to change the way people work and businesses compete. Harvard Business Press, Boston, MA, USA, 2009.

[SA15] Schlagenhaufer, C.; Amberg, M.: A Descriptive Literature Review and Classification Framework for Gamification in Information Systems: Proceedings of the 23rd European Conference on Information Systems (ECIS), 2015; S. 1–15.

[Si16] Silpasuwanchai, C. et al.: Developing a Comprehensive Engagement Framework of Gamification for Reflective Learning: Proceedings of the ACM Conference on Designing Interactive Systems (DIS), 2016; S. 459–472.

[SS08] Sawyer, B.; Smith, P.: Serious Games Taxonomy. https://thedigitalentertainmentalliance.files.wordpress.com/2011/08/serious-games-taxonomy.pdf, 29.06.2017.

[TFF14] Tootell, H.; Freeman, M.; Freeman, A.: Generation Alpha at the Intersection of Technology, Play and Motivation: Proceedings of the 47th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS), 2014; S. 82–90.

[TLB14] Thiebes, S.; Lins, S.; Basten, D.: Gamifying information systems-a synthesis of gamification mechanics and dynamics: Proceedings of the 22nd European Conference on Information Systems (ECIS), 2014; S. 1–17.

[US14] Uskov, A.; Sekar, B.: Serious games, gamification and game engines to support framework activities in engineering: Case studies, analysis, classifications and outcomes: Proceedings of the IEEE International Conference on Electro/Information Technology (EIT), 2014; S. 618–623.

[WM06] White, M. D.; Marsh, E. E.: Content Analysis. A Flexible Methodology. In Library Trends, 2006, 55; S. 22–45.

[WW02] Webster, J.; Watson, R. T.: Analyzing the Past to Prepare for the Future: Writing a Literature Review. In MIS Quarterly, 2002, 26; S. xiii–xxiii.

[YK15] Yoganathan, D.; Kajanan, S.: Designing Fitness Apps Using Persuasive Technology: A Text Mining Approach: Proceedings of the 19th Pacific Asia Conference on Information Systems (PACIS), 2015; S. 1–14.

[ZC11] Zichermann, G.; Cunningham, C.: Gamification by design. Implementing game mechanics in web and mobile apps. O'Reilly, Sebastopol, CA, USA, 2011.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 405

Wie kann durch Gamification die Mitarbeiterpartizipation auf einer Social-Business-Plattform gesteigert werden?

Eine fallstudienbasierte Untersuchung

Anna Feldmann[1] und Frank Teuteberg[2]

Abstract: Bei der Etablierung von Social-Business-Plattformen in Unternehmen handelt es sich nicht nur um eine Einführung eines technischen Systems, sondern auch um eine grundlegende Veränderung in der Zusammenarbeit und in der Unternehmenskultur. Es ist unerlässlich, die Mitarbeiter auf dem Weg in diese neuen Arbeitsweisen mitzunehmen und diesen den Funktionsumfang und die neuen Möglichkeiten näher zu bringen. Die Akzeptanz derartiger Plattformen ist Grundlage für eine effektive Arbeit mit den neuen digitalen Möglichkeiten. Doch wie kann ein Unternehmen eine aktive Mitarbeiterpartizipation herbeiführen? Dieser Frage geht der vorliegende Beitrag auf Basis einer fallstudienbasierten Untersuchung aus der Praxis nach. Der Beitrag zeigt, wie mit Hilfe von Gamification-Elementen die Einführung der Plattform „IBM Connections" unterstützt wurde. Dafür werden vier Maßnahmen vorgestellt und anschließend bewertet. Die Durchführung hat mit Hilfe des Einsatzes von extrinsischer Motivation messbare Kennzahlen in dem Unternehmen (z. B. „Anzahl der in der letzten Woche angemeldeten Mitarbeiter", „Profile mit Profilbild" sowie „Profile mit Tags") verbessert.

Keywords: Gamification, Social-Business-Plattform, IBM Connections, Mitarbeiterpartizipation

1 Einleitung

Die Besonderheit bei der Einführung von Social-Business-Plattformen ist, dass es sich nicht nur um die Etablierung einer neuen technischen Infrastruktur handelt, sondern auch um eine Veränderung der Unternehmenskultur [Bu13]. Die Formen der Zusammenarbeit wandeln sich von hierarchischen Strukturen hin zu vernetzter Projektarbeit. Zusätzlich wird durch die Einführung dem bereits existierenden Repertoire aus verschiedenen Lösungen eine weitere Möglichkeit zur Kommunikation und Zusammenarbeit hinzugefügt. Daher ist es wichtig, dass die Mitarbeiter die Plattform in ihre alltäglichen Arbeitsprozesse integrieren. Sie stehen somit vor der Herausforderung, sich die Funktionsweise der Software anzueignen. Die Vorteile der Lösung sollten transparent für die Belegschaft sein – ansonsten wird die Lösung wenig Akzeptanz finden. Genau an diesem Punkt setzt dieser Beitrag an. Es wird untersucht, wie eine Steigerung der Mitarbeiterpartizipation auf spielerische Art und Weise – durch den Einsatz von

[1] Universität Osnabrück, Unternehmensrechnung und Wirtschaftsinformatik, Katharinenstr. 1, 49069 Osnabrück, Deutschland, fanna@uni-osnabrueck.de
[2] Universität Osnabrück, Unternehmensrechnung und Wirtschaftsinformatik, Katharinenstr. 1, 49069 Osnabrück, Deutschland, frank.teuteberg@uni-osnabrueck.de

doi:10.18420/in2017_34

Gamification – erzielt werden kann.

Im Bereich "Gamification" liegen bereits einige empirische Studien zu den Potenzialen vor. [Ha14] sowie [SF15] geben bspw. einen Überblick über bereits vorhandene Arbeiten. Im Gegensatz zu vorhandenen Untersuchungen legt dieser Beitrag den Fokus auf praktische Erfahrungen mit dem Einsatz von Gamification-Elementen bei der Einführung einer Social-Business-Plattform. Er zeigt an einer konkreten Maßnahme, dass sich Gamification-Elemente auf der Social-Business-Plattform „IBM Connections“ einsetzen lassen, ohne das diese softwareseitig modifiziert werden muss.

Aus der vorgestellten Motivation lässt sich die folgende grundlegende Forschungsfrage ableiten: Welche a) Gestaltungselemente und b) Maßnahmen sind erforderlich damit die Mitarbeiterpartizipation auf der Social-Business-Plattform „IBM Connections“ durch den Einsatz von Gamification gesteigert werden kann? Der Beitrag ist wie folgt aufgebaut: Im Anschluss an die Einleitung folgt eine Ausführung der theoretischen Grundlagen. Die Themengebiete Social-Business-Plattform, Steigerung der Mitarbeiter-partizipation und Gamification werden an dieser Stelle dargestellt. Abschnitt 3 gibt einen Überblick über das Umfeld und das methodische Vorgehen der Fallstudie. Danach werden in Abschnitt 4 die durchgeführten Maßnahmen vorgestellt und hinsichtlich der Zielerreichung bewertet. Abgerundet wird der Beitrag mit einer Zusammenfassung.

2 Grundlagen

2.1 Social-Business-Plattform

Unter dem Terminus „Social-Business-Plattform“ versteht man alle Aktivitäten eines Unternehmens, die auf Social Media setzen, „um effizientere, effektivere und nützlichere Verbindungen zwischen Menschen, Informationen und Ressourcen herzustellen – sowohl innerhalb als auch außerhalb des Unternehmens“ [Bi13]. Somit wird mit dem Einsatz von Social Business innerhalb von Unternehmen das wesentliche Ziel verfolgt durch Vernetzung die Unternehmensperformance zu erhöhen [Bu13].

2.2 Steigerung der Mitarbeiterpartizipation auf Social-Business-Plattformen

Damit eine Social-Business-Plattform erfolgreich in einem Unternehmen etabliert werden kann, ist die freiwillige und aktive Beteiligung auf der Plattform grundlegende Herausforderung. Um eine kritische Masse an aktiven Nutzern zu erreichen, sollten diese motiviert werden, die Software zu nutzen. [Ma10] entwickelte ein Modell, das einen Entscheidungsprozess eines Mitarbeiters skizziert, den dieser durchläuft bis es zur dauerhaften Nutzung und aktiven Partizipation an der Plattform kommen kann.

Dieses Modell basiert auf den Erkenntnissen aus (Technologie-)Akzeptanzmodellen, wie dem weit verbreitetem Technology Acceptance Model (TAM) nach [Da89], dem

erweiterten Technology Acceptance Model nach [VK00] sowie den Akzeptanzmodellen nach [De869] und [Ko98]. Außerdem finden sich Ansätze und Erkenntnisse aus der Motivationsforschung (vgl. Motivational Model nach [PL68]) sowie die „Theory of Reasoned Action" nach [FA75]) in dem Modell wider.

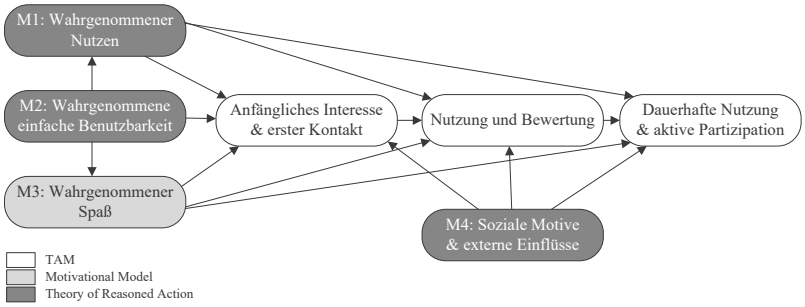


Abb. 1: Motive zur Nutzung von Social-Business-Software [Ma10]

In der ersten Phase „Anfängliches Interesse & erster Kontakt" erfährt der Mitarbeiter von der Existenz der Software. Hier findet die erste Berührung statt. In der anschließenden Phase – „Nutzung und Bewertung" – wird die Plattform im inner-betrieblichen Alltag genutzt. Je nachdem wie der Mitarbeiter den Nutzen der Plattform empfindet, bewertet er diese. Nur wenn der Mitarbeiter einen Nutzen wahrnimmt und zufrieden ist, kommt es in Phase drei zu einer aktiven Partizipation und dauerhaften Nutzung. Motive zur Nutzung von Social-Business-Plattform können neben dem wahrgenommenen Nutzen, auch eine wahrgenommene einfache Benutzbarkeit, ein wahrgenommener Spaß sowie soziale Motive und externe Einflüsse sein.

2.3 Gamification

In der Literatur lässt sich für den Begriff „Gamification" noch keine allgemeingültige, wissenschaftliche Begriffsdefinition finden [Go14, SF15]. Erstmals wurde der Begriff in einem Blog-Eintrag von Brett Terrill im Jahre 2008 verwendet [Te08]. Seither gibt es verschiedene Ansätze. In der verbreiteten Definition von [De11] wird "Gamification as the use of game design elements in non-game contexts" beschrieben. Bei Gamification, oder auch „Spielifizierung" genannt, geht es demnach um den Einsatz von Spiel-Design-Elementen „z. B. in Business Software, in E-Commerce-Angeboten oder in Bereichen, die augenscheinlich sehr wenig mit Spielen zu tun haben" [Ko13]. Ob ein Nutzer ein bestimmtes Produkt oder ein Informationssystem nutzen möchte, hängt demnach von seinen individuellen Motiven ab [RD00]. Die Beeinflussung der Verhaltensweisen einer Person soll durch die gezielte Aktivierung von einzelnen Nutzungsmotiven durch den Einsatz von Spiel-Design-Elementen erfolgen [Pe11, BL13].

Spiel-Design-Elemente lassen sich untergliedern in Spiel-Dynamiken und Spiel-Mechaniken [De11]. Bei Spiel-Mechaniken handelt es sich um Instrumente wie z. B. Punktesysteme oder auch Gruppenaufgaben. Spiel-Dynamiken beschreiben die

Auswirkungen dieser Spiel-Mechaniken [HH12].

Es gibt verschiedene Ansätze um diese Spiel-Design-Elemente zu kategorisieren [Sa16]. [BL13] unterscheiden sieben verschiedene Spiel-Design-Elemente, welche in Tab. 1 näher erläutert werden.

Spiel-Design-Elemente		Motive
Spiel-Mechanik	Spiel-Dynamik	
Dokumentation von Verhaltensweisen	Exploration	Wissbegierde
Punktesysteme, Badges, Trophäen	Sammeln	Leistung
Ranglisten	Wettbewerb	Soziale Anerkennung
Ränge, Levels, Reputationspunkte	Statuserwerb	
Gruppenaufgaben	Zusammenarbeit	Sozialer Austausch
Zeitdruck, Aufgaben, Missionen	Herausforderung	Kognitive Stimulation
Avatare, virtuelle Welten	Entwickeln/Organisieren	Selbstbestimmung

Tab. 1: Spiel-Design-Elemente und Motive [BL13]

3 Die Fallstudie

3.1 Beschreibung des Umfelds

Das Unternehmen ist IT-Dienstleister für Banken und hat seinen Sitz in Deutschland. 2015 arbeiteten etwa 1.837 Mitarbeiter in der Unternehmung. Im Vorjahr lag der Umsatz des Unternehmens bei 458 Millionen Euro. Seit 2009 ist die Social-Business-Plattform „IBM Connections“ im Einsatz.

Im Folgenden werden die verschiedenen Funktionalitäten von IBM Connections, die das Unternehmen einsetzt, kurz skizziert [IB17]. Die Funktionalität „Homepage“ bietet einen Überblick über alle Aktivitäten in dem eigenen Netzwerk. Jede Person, die IBM Connections nutzt, hat ein sogenanntes Profil. Neben dem Namen des Mitglieds können hier auch das Fachwissen und die eigenen Interessen hinterlegt werden. Eine Gruppe von Personen kann sich in Form von Communities organisieren. Diese Communities können sowohl öffentlich für jeden zugänglich, als auch auf einen bestimmten Nutzerkreis eingeschränkt sein. Eine Community schließt immer verschiedene Komponenten ein, welche individuell nach den Bedürfnissen der Mitglieder ausgewählt werden können. Zur Auswahl stehen beispielsweise: Ein Blog, ein Forum, ein Wiki, eine Datei-Funktion, eine Bookmark-Funktionalität und Aktivitäten. Neben diesen Funktionalitäten bieten Plattformen wie IBM Connections umfangreiche Suchen über alle Inhalte sowie die Möglichkeit des Taggings („mit Schlagworten versehen“). Durch die Vergabe von Tags sind die Inhalte für andere Nutzer über die Suche leichter auffindbar.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass durch IBM Connections Expertennetzwerke aufgebaut werden können und somit sowohl die Arbeitseffektivität als auch die Innovationsfähigkeit der Mitarbeiter erhöht werden kann.

3.2 Methodisches Vorgehen

Da der Forschungsbereich bisher wenig untersucht wurde, liegt eine explorative Herangehensweise nahe [Wa06], die in dieser Untersuchung in Form einer Fallstudie umgesetzt wird. Die Daten wurden, der Empfehlung von [Yi03] folgend, anhand verschiedener Techniken erhoben und analysiert. Als Datenquellen wurden Dokumente, interne Präsentationen, die interne Social-Business-Plattform sowie Nutzungsstatistiken herangezogen.

4 Ergebnis

4.1 Ausgangssituation

Das Unternehmen startete den Einsatz der Plattform „IBM Connections“ im Jahr 2009 mit einer Projektgruppe. Nach kurzer Zeit wurde die Plattform für alle Mitarbeiter freigeschaltet. Es gab kein Einführungskonzept oder eine Information an alle Mitarbeiter. Momentan ist die Nutzung freiwillig. Das führt dazu, dass einige Mitarbeiter die Plattform sehr aktiv nutzen und andere sehr wenige Berührungspunkte mit der Anwendung haben. Dieses Verhalten lässt sich auch anhand von Kennzahlen ablesen: Im März 2015 hatten 701 Mitarbeiter (etwa 38 Prozent) ein Profilbild hochgeladen. Eindeutige Tags wurden 1131 gezählt. Die Anzahl der Profile, die mit Tags versehen waren, betrug 464. Daher wird die Zielsetzung verfolgt, dass die Mitarbeiterpartizipation nachhaltig gesteigert wird und alle Mitarbeiter den Funktionsumfang kennen sowie die Grundfunktionalitäten bedienen können.

4.2 Ziele

Es wurde eine Aktion für die Mitarbeiter im Zeitraum vom 30. März bis zum 10. April 2015 durchgeführt. Innerhalb des Unternehmens wird über die sogenannte „Oster-Aktion“ gesprochen. Es ging darum, dass die Kernfunktionalitäten der Plattform vermittelt und spielerisch erlernt werden. Dafür sind vier verschiedene Maßnahmen konzipiert worden. Diese bauten hinsichtlich des Schwierigkeitsgrades aufeinander auf und verfolgten das Ziel eines Kompetenzgewinnes (hinsichtlich Qualifikation und eigenen Erfahrungen). Um einen Anreiz zur Teilnahme zu schaffen, wurden vier Sachpreise unter den Teilnehmern verlost. Die Entscheidung war bewusst auf ein Belohnungssystem gefallen, da das Interesse an der Plattform zu dem Zeitpunkt als nicht groß genug eingeschätzt wurde. Es wurde angenommen, dass die Mitarbeiter selbst keine intrinsische Motivation zur Teilnahme entwickeln könnten. Die drei Hauptziele der Aktion wurden von dem Projektteam aufgestellt.

1. Alle Mitarbeiter sollen die Möglichkeit bekommen, spielerisch die Funktionalitäten von IBM Connections (insbesondere Blogs, Foren, Suche, Profil, Tagging, Wiki, Aufbau einer Community sowie IBM Docs) kennenzulernen.
2. Die Anmeldezahlen im Teilnahmezeitraum sollen höher ausfallen als bisher. Angestrebt ist eine Erhöhung um mindestens 25 Prozent.
3. Die Auswertung der Kennzahl „Anzahl der Profile mit Tags“ soll eine Erhöhung aufweisen. Angestrebt ist hier eine Steigerung um 15%. Die Erhöhung wird hier niedriger gewählt als im zweiten Ziel, da Profile, die bereits Tags besitzen und mit weiteren Tags versehen werden, in der Kennzahl „Anzahl der Profile mit Tags“ kein weiteres Mal berücksichtigt werden.

4.3 Durchführung

Im Folgenden werden die einzelnen Maßnahmen erläutert. Jede Maßnahme wurde separat über das Intranet des Unternehmens anmoderiert.

Maßnahme 1 (Blog): Ziel der ersten Maßnahme war das Kennenlernen der Funktionalität „Blog“. Hierfür wurde in einem Blog eine Aufgabe veröffentlicht, die für alle Mitarbeiter zugänglich war. In einem Behälter wurden einige, verschieden große, runde Gegenstände („Ostereier“) gegeben und die Anzahl dieser sollte geschätzt werden. Die Abgabe einer Schätzung war durch die Kommentierung des Blogs, auf dem das Foto des Behälters veröffentlicht wurde, möglich. Die Motive „kognitive Stimulation“ und auch „soziale Anerkennung“ sollten angesprochen werden, da die Aufgabe eine (leichte) Herausforderung darstellen und ein Gefühl von „Wettbewerb“ entstehen sollte und der Mitarbeiter, der am nächsten an der Lösung liegt, einen Preis gewinnt.

Maßnahme 2 (Forum): Die Funktionalität „Forum“ stand im Fokus der zweiten Maßnahme. Auch hier wurde in einem Blog die Aufgabenstellung veröffentlicht. Es musste ein Labyrinth gelöst werden. Hierbei handelte es sich um einen verschlungenen Weg, der drei Eingänge und einen Ausgang besaß. Ziel war es den richtigen Weg zu finden. Hinter den drei Eingängen stand jeweils ein Forum. Fand der Mitarbeiter die richtige Lösung, so musste er einen Beitrag in dem entsprechenden Forum hinterlassen. Dort wurde die Frage „Was ist Deine Lieblingsfunktionalität in IBM Connections?“ gestellt. Hier wurde also neben den Motiven „kognitive Stimulation“ und „soziale Anerkennung“ auch das Motiv der „Wissbegierde“ adressiert. Die Teilnehmer standen erst vor der Herausforderung, das Rätsel zu lösen und verfassten dann einen Foren-Beitrag. Gleichzeitig konnten sie erkunden, wie Andere die Frage beantwortet hatten.

Maßnahme 3 (Suche, Profil, Tagging): Bei der dritten Maßnahme wurde wiederrum in einem Blog die Aufgabe veröffentlicht. Es ging darum, ein Buchstaben-Rätsel zu lösen und die Person in IBM Connections zu finden, die mit dem Lösungswort „getaggt“ wurde und diese Person erneut mit diesem Tag versehen. Außerdem sollten zwei weitere Personen mit passenden „Tags“ versehen werden. In dem Blog-Eintrag befand sich zudem

auch eine Anleitung zu dem Themenkomplex „Suche, Profil & Tagging“ als Hilfestellung. Auch hier wurden wieder die Motive „kognitive Stimulation“ und auch „soziale Anerkennung“ angesprochen.

Maßnahme 4 (Aufbau einer Community, IBM Docs): Bei der vierten Maßnahme wurden die Funktionalitäten „Aufbau einer Community“ sowie „IBM Docs“ spielerisch vermittelt. Dafür wurden innerhalb einer Community Bilder von Ostereiern versteckt. Diese sollten gezählt werden. Wurde die Anzahl ermittelt, so konnte diese in ein IBM-Docs-Tabellenkalkulations-Dokument einpflegen werden. Hier wurde neben Namen, Abteilung und Anzahl auch Platz für eine Anmerkung geboten. Ein Mitarbeiter aus dem Kundensupport kommentierte mit „Die Aktion ermutigt auf positive Weise den Umgang mit IBM Connections“, ein Produktmanager hinterließ die Nachricht „Gutes Marketing, Gute Ideen.“ Diese Maßnahme sollte neben den Motiven „kognitive Stimulation“, „soziale Anerkennung“ und „Wissbegierde“, auch das Motiv des „sozialen Austauschens“ unterstreichen, da in Echtzeit Dokumente gemeinsam erstellt und bearbeitet werden können.

In Tabelle 2 wird zusammengefasst, welche Motive innerhalb der Oster-Aktion angesprochen wurden.

Motive	Maßnahmen			
	1	2	3	4
Wissbegierde		x		x
Leistung				
Soziale Anerkennung	x	x	x	x
Sozialer Austausch				x
Kognitive Stimulation	x	x	x	x
Selbstbestimmung				

Tab.2: Angesprochene Motive durch die durchgeführten Maßnahmen [BL13]

Das Motiv „Leistung“ wurde nicht direkt in den Maßnahmen berücksichtigt. Das Motiv „soziales Kräftemessen“ wurde adressiert, da am Ende Preise vergeben wurden. Nahm ein Mitarbeiter an allen vier Maßnahmen teil, so war seine Gewinnchance am höchsten. Gewann ein Mitarbeiter einen Preis, so signalisierte er den anderen Mitarbeitern öffentlich, dass er ein bestimmtes Ziel erreicht hatte. Das Motiv der „Selbstbestimmung“ wird nicht angesprochen, da es im Rahmen der Aktion nicht möglich war in eine virtuelle Rolle zu schlüpfen. Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass viele verschiedene Motive durch die einzelnen Maßnahmen angesprochen wurden.

4.4 Bewertung hinsichtlich der Zielerreichung

Werden die drei formulierten Hauptziele betrachtet, so kann folgendes resümiert werden.

Bewertung von Ziel 1: Es war für alle Mitarbeiter möglich, die Funktionalitäten spielerisch kennenzulernen. Ein Kritikpunkt könnte hier der gewählte Zeitraum sein – die

zwei Wochen um Ostern sind eine typische Ferienzeit. Da die Aktion aber öffentlich ausgeführt wurde, wird dieses Ziel als erfüllt betrachtet.

Bewertung von Ziel 2: Unmittelbar vor der Aktion lieferte die Kennzahl „Anzahl der in der letzten Woche angemeldeten Mitarbeiter" den Wert 667. Direkt nach der Oster-Aktion 957. Da die Kennzahl sich immer auf die letzte Woche bezieht, haben sich während der Oster-Aktion 957 Mitarbeiter (etwa 52% aller Mitarbeiter) bei IBM Connections angemeldet. Das ist eine Steigerung von etwa 43%. Das angestrebte Ziel ist somit erfüllt. Ein weiterer positiver Nebeneffekt war, dass während der Oster-Aktion 33 Mitarbeiter ein Profilbild hochgeladen haben.

Bewertung von Ziel 3: Unmittelbar vor der Aktion waren 464 Profile mit Tags versehen. Direkt danach waren es 551 Profile. Im Teilnahmezeitraum waren es somit 87 Profile, die zusätzlich getaggt wurden. Zum Vergleich: Im gesamten Jahr 2014 wurden 171 Profile mit Tags versehen. Das dritte Ziel wurde somit ebenfalls erfüllt.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass durch die vier Maßnahmen alle formulierten Ziele erreicht werden konnten.

4.5 Kritische Betrachtung

Wie dargestellt, lässt sich anhand der Kennzahlen eine positive Entwicklung erkennen. Wichtig ist, dass dieser Beitrag einigen Limitationen unterliegt. In zukünftigen Beiträgen sollten die Ziele, beispielweise durch die Festlegung von Metriken, noch stärker operationalisierbar gemacht werden, damit die Ergebnisse noch belastbarer werden. Außerdem liefert der Beitrag keine Aussagen zu langfristigen Erfolgen der Maßnahmen. Dies ist der Fall, da der Verlauf nach den Maßnahmen nur bedingt analysiert werden kann, da sich das Unternehmen nach der Aktion mit einem anderen Unternehmen zusammengeschlossen hat und sich damit die Anzahl der Mitarbeiter signifikant verändert hat. Daher lassen sich keine fundierten Aussagen über den langfristigen Erfolg treffen.

Ein Kritikpunkt kann sein, dass Preise als extrinsische Motivatoren eingesetzt wurden. In der Literatur heißt es hierzu, dass es langfristig erfolgreicher ist, auf die innere (intrinsische) Motivation zu setzen, auch wenn dieses Vorhanden schwieriger ist als auf Belohnungen zu bauen [Br11]. Ein Argument für die Verlosung ist jedoch, dass so die Auszeichnungen in die reale Welt (durch die Preisvergabe) übertragen wurden. Außerdem konnten durch den Anreiz Menschen motiviert werden (Nutzungsmotiv „soziale Motive und externe Einflüsse"; siehe Abb. 1), die Plattform zum ersten Mal aufzurufen um die Funktionalitäten kennenzulernen.

Es kann festgehalten werden, dass eine Aktion über zwei Wochen nicht dazu führen kann, dass die Mitarbeiterpartizipation langfristig steigt. Trotzdem zeigt die Aktion, dass die Mitarbeiter auf die Gamification-Elemente reagieren, sich auf diese Art des Lernens einlassen und sich durch die Aktion angesprochen fühlten. Eine Empfehlung für das Unternehmen ist es daher, weiter auf Gamification zu setzen.

5 Zusammenfassung

Es lässt sich resümieren, dass die Forschungsfrage „Welche a) Gestaltungselemente und b) Maßnahmen sind erforderlich damit die Mitarbeiterpartizipation auf der Social-Business-Plattform „IBM Connections“ durch Einsatz von Gamification gesteigert werden kann?“ in der vorgestellten Fallstudie für das praktische Beispiel dargestellt werden konnte. Die Fallstudie ist zwar nicht repräsentativ, zeigt aber praktische Erfahrungen auf. Durch ihren explorativen Charakter wird gezeigt, wie eine Vielzahl von Motiven durch einzelne Maßnahmen angesprochen werden können. Falls weitere Maßnahmen geplant werden, sollte trotzdem vermehrt auf die Ansprache der intrinsischen Motivation gesetzt werden. Wird zu oft mit Belohnungen gearbeitet, so besteht die Gefahr, dass die Mitarbeiter ohne Gegenleistung nicht mehr bereit sind, sich mit Dingen auseinanderzusetzen. Außerdem war es dem Management ein wichtiges Anliegen, dass die Ernsthaftigkeit gewahrt wird, und dass IBM Connections nicht zur Plattform der Gewinnspiele wird. Für einen ersten Versuch bewerten die Autoren den Gamification-Ansatz in Verbindung mit der Verlosung dennoch als richtigen Weg.

Wichtig ist nach wie vor, dass die Maßnahmen zu der Kultur und den Zielen des Unternehmens passen. Besonders in den ersten Phasen der Nutzung („Anfängliches Interesse & erster Kontakt“ sowie „Nutzung und Bewertung“) können Anreize geschaffen werden die Plattform zu nutzen. In einer späteren Phase („Dauerhafte Nutzung und aktive Partizipation“) kann durch gezielte Maßnahmen dafür gesorgt werden, dass die Mitarbeiter stärker an IBM Connections gebunden werden oder – falls sie nicht mehr aktiv sind – wieder auf die Plattform zurückfinden.

Literaturverzeichnis

[Bi13] Bitkom: Einsatz und Potenziale von Social Business für ITK-Unternehmen, Bitkom, Berlin, 2013.

[BL13] Blohm, I.; Leimeister, J.: Gamification. Gestaltung IT-basierter Zusatzdienstleistung zur Motivationsunterstützung und Verhaltensänderung. In: Business & Information Systems Engineering (BISE), 55(4), S. 275-278, 2011.

[Br11] Breuer, M.: Motivation und Engagement – Der Unterschied zwischen dummer und intelligenter Gamification; online unter: http://intelligent-gamification.de/2011/08/08/motivation-und-engagement-der-unterschied-zwischen-dummer-und-intelligenter-gamification, letzter Aufruf: 15.02.2017, 2011.

[Bu13] Bundesverband Digitale Wirtschaft (BVDW) e.V.: ENTERPRISE 2.0. Social Software in Unternehmen, BVDW, Düsseldorf, 2013.

[Da89] Davis, F. D.: Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. In: MIS Quarterly, 13(3), S. 319-339, 1989.

[De11] Deterding, S.; Dixon, D.; Khaled, R.; Nacke, L.: From Game Design Elements to

Gamefulness: Defining “Gamification”. In: Proceedings of the 15th International Academic MindTrek Conference, Tampere, S. 9-15, 2011.

[De86] Degenhardt, W.: Akzeptanzforschung zu Bildschirmtext, Fischer, München, 1986.

[FA75] Fishbein, M.; Ajzen, I.: Belief, Attitude, Intention and Behavior: An Introduction to Theory and Research. Adison-Wesley, Reading, Massachusets, 1975.

[Go14] Gonzales-Scheller, P.: Trendthema Gamification: Was steckt hinter diesem Begriff?. In: (Diercks J.; Kupka, K. Hrsg.),: Recrutainment: Spielerische Ansätze in Personalmarketing und –auswahl, Gabler Verlag, Wiesbaden, S. 33-51, 2014.

[Ha14] Hamari, J.; Koivisto, J.; Sarsa, H.: Does Gamification Work? – A Literature Review of Empirical Studies on Gamification. In: 47th Hawaii International Conference on System Sciences, Waikoloa, S. 3025-3034, 2014.

[HH12] Huotari, K.; Hamari, J.: Defining gamification – a service marketing perspective. In: Proceedings of the 15th International Academic MindTrek Conference: Envisioning Future Media Environments (MindTrek ’11), ACM, New York, S. 17-22, 2012.

[IB17] IBM: Eine Welt voller neuer Möglichkeiten, online unter: http://www-03.ibm.com/software/products/de/conn, letzter Aufruf: 11.02.2017, 2017.

[Ko13] Koch, M.; Ott, F.; Oertelt, S.: Gamification von Business Software – Steigerung von Motivation und Partizipation. In: (Koch, M.; Ott, F. Hrsg.): Schriften zur soziotechnischen Integration, Band 3. Forschungsgruppe Kooperationssysteme, Universität der Bundeswehr München, 2013.

[Ko98] Kollmann, T.: Die Akzeptanz innovativer Nutzungsgüter und –systeme: Konsequenzen für die Einführung von Telekommunikations- und Multimediasystemen, DUV, Wiesbaden, 1998.

[Ma10] Manouchehri Far, S.: Social Software in Unternehmen: Nutzenpotentiale und Adoption in der innerbetrieblichen Zusammenarbeit, Josef Eul Verlag, Köln, 2010.

[Pe11] Petkov, P.; Köbler, F.; Foth, M.; Medland, R.C.; Krcmar, H.: Engaging energy saving through motivation-specific social comparison. In: Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI), Vancouver Convention Centre, Vancouver, S. 1-6, 2011.

[PL68] Porter, L.W., Lawler, E.E.: Managerial attitudes and performance, Iris-Dorsey, Homewood, Illionis, 1968.

[RD00] Ryan, R. M.; Deci, E.L.: Intrinsic and extrinsic motivations: classic definitions and new directions; in: Contemporary Educational Psychology, 25(1), S. 54-67, 2000.

[Sa16] Sailer, M.: Die Wirkung von Gamification auf Motivation und Leistung. Empirische Studien im Kontext manueller Arbeitsprozesse, Springer, Wiesbaden, 2016.

[SF15] Seaborn, K.; Fels, D.I.: Gamification in theory and action: A survey. In: International Journal of Human-Computer Studies, 74, S. 14-31, 2015.

[Te08] Terrill, B.: My Coverage of Lobby of the Social Gaming Summit, online unter: http://www.bretterrill.com/2008/06/my-coverage-of-lobby-of-social-gaming.html, letzter Aufruf: 15.02.2017, 2008.

[VD00] Venkatesh, V.; Davis, F.D.: A theoretical extension of the technology acceptance model: four longitudinal field studies. In: Management Science, 46(2), S. 186-204, 2000.

[Wa06] Walsham, G.: Doing Interpretive Research. In: European Journal of Information Systems, 15(3), S. 320-330, 2006.

[Yi03] Yin, R.K.: Case study research. Design and methods. Sage, Thousand Oaks, 2003.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 417

Entwicklung und Evaluierung eines Competence Developing Game für die Generation 50+ zum Erwerb von Medienkompetenz im Umgang mit sozialen Netzwerken

Jan Heinrich Beinke[1], Pascal Meier[1], David Fiege[1], Anne Christin Münning[1] und Frank Teuteberg[1]

Abstract: Soziale Netzwerke haben in den vergangenen Jahren stark an Bedeutung in der Gesellschaft gewonnen. Vor allem die jungen Generationen sind mehrheitlich in diesen angemeldet. Senioren sind bei der Adaption sozialer Netzwerke hingegen vergleichsweise zurückhaltend. In diesem Beitrag wird ein Competence Developing Game (CDG) entwickelt und evaluiert, welches der Generation 50+ entsprechende Medienkompetenz im sicheren Umgang mit sozialen Netzwerken anhand des Beispiels Facebook vermittelt. Die Evaluation des entwickelten CDG zeigt, dass die Inhalte entsprechend der kognitiven und physischen Fähigkeiten der jeweiligen Altersgruppe aufbereitet und vermittelt werden sollten. Insbesondere die Integration von Videos und „Minispielen" wurde von den Anwendern des entwickelten CDG als hilfreich hervorgehoben.

Keywords: Competence Developing Game, Soziale Netzwerke, Facebook, Medienkompetenz, Generation 50+

1 Einleitung und Motivation

Obwohl die Nutzerzahlen von sozialen Netzwerken stetig steigen [St16a] sind ältere Menschen oftmals nicht mit der Nutzung sozialer Netzwerke vertraut und werden in dem Zusammenhang auch als sog. Digital Immigrants bezeichnet [Wa12]. In diesem Kontext ist auch auf die Gefahr des Digital Divide zu verweisen: Ein Teil der Senioren kennt sich gut aus und bewegt sich sicher im Internet, während der andere Teil über wenig Wissen verfügt und daher von der Internetnutzung ausgegrenzt wird [Fr16]. In diesem Beitrag wird mit der Konzeption, Implementierung und Evaluierung eines CDG untersucht, wie diesem Problem adäquat begegnet werden kann. Mit einem Anteil von Senioren (Personen, die 65 Jahre und älter sind) von 21,1 % weist Deutschland im europäischem Vergleich den dritthöchsten Wert auf [St16b]. Dazu ist die durchschnittliche Lebenserwartung in den letzten Jahren gestiegen und wird sich nach Prognosen des statistischen Bundesamtes auch in Zukunft weiter erhöhen [St17]. Gerade vor diesem Hintergrund ist es wichtig, dass die heutige Generation über 50 Jahre auch im hohen Alter mit Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) im Allgemeinen und sozialen Netzwerken im Speziellen vertraut ist, um die Möglichkeiten, die IKT bietet, in angemessener Weise nutzen zu können

[1] Universität Osnabrück, Fachgebiet Unternehmensrechnung und Wirtschaftsinformatik, Katharinenstr. 1, 49076 Osnabrück, {jan.beinke; pascal.meier; dfiege; amuenning; frank.teuteberg}@uni-osnabrueck.de

doi:10.18420/in2017_35

[Be17].

König und Wolf definieren CDG als Oberbegriff für Spiele, deren primäres Ziel die Vermittlung von Wissen sowie von persönlichen, sozialen und methodischen Fähigkeiten [KW16]. Bisher ist der Begriff „Serious Game“(SG), die als eine Kategorie der CDG bezeichnet werden können, in der Literatur stärker verbreitet als Competence Developing Games. Es existieren bereits erste Forschungsarbeiten, die die Konzeption, Entwicklung und den Nutzen von SG für Senioren thematisieren. Des Weiteren konnte mit „Friend Inspector“ ein SG für die Nutzung sozialer Netzwerke identifiziert werden, das jedoch nicht explizit Senioren als Zielgruppe identifiziert [Ce14]. Die Anwendung von SG zur Steigerung der Medienkompetenz von Senioren im Umgang mit sozialen Netzwerken findet bisher nur vereinzelt statt (vgl. Abschnitt 2 zu verwandten Arbeiten).

Dieser Aspekt wird im Rahmen dieser Arbeit berücksichtigt, indem ein CDG konzipiert, implementiert und evaluiert wird, welches Senioren den Umgang mit Facebook näherbringen soll. Dabei wurde das Spiel zielgruppengerecht unter Berücksichtigung der gesundheitlichen und körperlichen Einschränkungen der Teilnehmer konzipiert. Nachdem die Probanden das Spiel gespielt haben, wurden diese gebeten, einen Fragebogen zum Spiel zu beantworten und ggf. weitere Informationen in Interviews bereit zu stellen. Da diese Studie den Effekt von CDG auf Senioren messen soll, wurden ausschließlich Teilnehmer (n=27) ausgewählt, die älter als 50 Jahre sind.

Ausgehend von dieser Grundlage ergibt sich folgende Forschungsfrage, die in diesem Beitrag adressiert wird:

> Wie können Menschen der Generation 50+ mittels Competence Developing Games den Umgang mit sozialen Netzwerken erlernen?

Der Aufbau des vorliegenden Beitrags ist wie folgt: Einer systematischen Literaturrecherche zum Thema CDG und SG (Abschnitt 2) folgt eine Analyse der Bedeutung sozialer Netzwerke (Abschnitt 3). In Abschnitt 4 wird die Konzeption und Implementierung des CDG vorgestellt. Anschließend erfolgt im fünften Abschnitt eine ausführliche Darstellung der durchgeführten Tests und die Evaluation des CDG. Im letzten Abschnitt werden Limitationen, Implikationen für Wissenschaft und Praxis sowie ein Ausblick präsentiert.

2 Verwandte Arbeiten

Innerhalb der vergangenen Jahre hat die Forschung im Bereich der CDG und SG stark zugenommen. Dabei fokussieren die Autoren nicht nur verschiedene Aspekte des Themas, sondern betrachten auch unterschiedliche Zielgruppen. Insbesondere Kinder und Jugendliche sowie Senioren der Generation 65+ stehen dabei im Fokus. Schwerpunkt der Forschung liegt oftmals im Game-Design [HM15, LP13, Va12] in der Analyse der Effekte von SG [Gi14, Wo13] oder in der Untersuchung von Best Practices [CLM14].

Zur Literaturrecherche nach Webster und Watson [WW02] wurden als Basis für diesen

Beitrag die Datenbanken Sciencedirect, AISeL, EBSCO, Google Scholar und Springerlink genutzt. Dabei wurden die Suchwörter „Competence Developing Game“, „Serious Game“ bzw. „Serious Gaming“, „game based learning“ sowie „game design”, jeweils in Kombination mit „elderly“ verwendet. Zusätzlich wurde auf Basis der identifizierten Literatur eine Vorwärts- und Rückwärtssuche durchgeführt.

Der Suchbegriff „Competence Developing Game“ führt dabei nur zu wenigen Ergebnissen. Diverse Arbeiten beschäftigen sich mit dem Einfluss von CDG auf kognitive Prozesse sowie auf die Motivation der Spieler. Es herrscht keine Einigkeit darüber, ob ein positiver Einfluss vorliegt oder nicht [Gi14, HBD15, Wo13]. Giessen argumentiert, dass sich SG in ihrer Struktur und ihrem Aufbau jeweils stark unterscheiden, sodass diese unterschiedliche Effekte auf die Spieler haben. Daraus schlussfolgert er, die zielgruppenorientierte Ausgestaltung von SG in den Vordergrund zu stellen [Gi14]. Dieser Ansatz wird von Catalano et al., unterstützt, die einen Überblick über die Erfolgsfaktoren von SG anhand von Best Practices erarbeitet haben [CLM14]. Chapman und Rich identifizieren darüber hinaus Motivationsfaktoren für CDG, beschränken sich dabei jedoch auf Spiele im schulischen Lernumfeld [CR17].

Im Bereich der Entwicklung von CDG für Senioren konnten ebenfalls relevante Arbeiten identifiziert werden. Lee und Park beschäftigen sich mit der Gestaltung der Oberfläche eines SG und deren Anpassung an die speziellen Bedürfnisse der alternden Gesellschaft ([LP13]). Hao und Miao liefern darüber hinaus eine Typologie von Grundprinzipien bei der Erstellung von SG für Senioren. Diese basiert auf einer vergleichenden Analyse von SG aus Theorie und Praxis ([HM15]). Ebenso stellen Vasconcelos et al. zehn Richtlinien bei der Erstellung einer Spieleplattform für Senioren auf. Diese fokussieren die Generation 65+ und beschränken sich auf Tablet-Anwendungen, zeigen jedoch ebenso, dass die benutzerfreundliche Gestaltung von CDG zur kontinuierlichen Nutzung motivieren ([Va12]).

Darüber hinaus finden sich Praxisbeispiele für SG, die Senioren adressieren. Kim et al. präsentieren bspw. ein selbst entwickeltes SG für ältere Menschen. Dieses fokussiert die Generation 65+ und soll dazu beitragen physische Fähigkeiten und Gedächtnis erhalten [KLO2016]. Die gleiche Zielgruppe wählen Leonhardt et al., die CDG dazu nutzen, älteren Menschen technische Anwendungen zur Steigerung der Lebensqualität im Bereich betreutes Wohnen bzw. Smart Home näher zu bringen und Akzeptanzprobleme zu mindern [Le14]. Cetto et al. liefern ein Beispiel für ein SG im Bereich sozialer Netzwerke ohne dabei den Fokus auf die Zielgruppe der Senioren zu legen. Das SG „Friend Inspector“ dient der spielerischen Förderung des Bewusstseins für den Schutz der Privatsphäre in sozialen Netzwerken [Ce14].

Es zeigt sich, dass CDG und SG für ältere Menschen bereits Teil der Forschung sind. Diese beschränkt sich jedoch noch stark auf die Generation 65+ und den Erhalt physischer Fähigkeiten sowie auf die Gesundheitsförderung. Eine Forschungslücke besteht hingegen beim Erwerb von Medienkompetenz (insb. im Umgang mit sozialen Netzwerken) mit Fo-

kus auf die Altersgruppe 50+. Der vorliegende Beitrag adressiert genau diese Forschungslücke.

3 Bedeutung sozialer Medien für die Generation 50+

Soziale Netzwerke werden als „[...] virtuelle Gemeinschaft, über die soziale Beziehungen via Internet gepflegt werden können [...]“ definiert [Fe13]. Anhand der seit Jahren steigenden Nutzerzahlen lässt sich die immer stärker werdende Beliebtheit dieser virtuellen Gemeinschaften erkennen [St16a]. Soziale Netzwerke werden genutzt, um sich zu informieren, zu kommentieren und mit anderen Nutzern zu interagieren [Mö15]. Aufgrund von eingeschränkter Mobilität, Verlust von Bezugspersonen und finanziellen Faktoren können Senioren den Kontakt zu Freunden und Familie verlieren [TWW14]. Daher stellt die soziale Interaktion von Nutzern insbesondere für Senioren einen wichtigen Aspekt sozialer Netzwerke dar. Obwohl soziale Netzwerke bei Senioren immer beliebter werden, liegt der Anteil der Personen, die soziale Netzwerke nutzen, in dieser Altersgruppe noch deutlich unter dem Anteil in jüngeren Altersgruppen. So nutzen 79 % der 14 bis 49-Jährigen in Deutschland aktiv soziale Netzwerke, während der Anteil bei 50 bis 64-Jährigen bei 52% und bei der Altersgruppe ab 65 sogar nur bei 38 % liegt [Bi16]. In der Studie von Hope et al. (2014) äußern ältere Menschen gegenüber der Nutzung sozialer Netzwerke erhebliche Zweifel. Faktoren wie die Zeitintensivität, die zur Betreibung eines Social Media Accounts notwendig ist, die Abneigung gegenüber ständiger Erreichbarkeit oder Sorgen bezüglich der Privatsphäre, des Datenschutzes und der Datensicherheit sind nur einige der Bedenken, welche die Teilnehmer der Studie geäußert haben [HSP14]. Um diese Skepsis abzubauen und älteren Menschen den Umgang mit sozialen Netzwerken beizubringen, können CDG ein geeignetes Mittel sein.

4 Konzeption und Entwicklung des Competence Developing Game

Die Entwicklung eines CDG setzt voraus, dass das Spiel entsprechend auf die kognitiven und physischen Fähigkeiten der Zielgruppe abstimmt wird. Da das CDG zum Erwerb von Medienkompetenz in der Altersgruppe 50+ dienen soll, wurden in Abschnitt 3 die Bedeutung von sozialen Medien für die Altersgruppe beschrieben. Dieser stehen jedoch einige Hemmnisse gegenüber. Darunter sind beispielsweise das fehlende Selbstvertrauen, Vorurteile gegenüber sozialen Netzwerken, Probleme mit der Benutzung der sozialen Medien, Bedenken gegenüber der Privatsphäre und Angst, etwas falsch zu bedienen, zu nennen [WK14]. Um diesen Hemmnissen entgegenzuwirken, wurde das CDG in insgesamt drei Kapitel mit unterschiedlichen Lerninhalten unterteilt. Die Kapitel wurden nach der Taxonomie nach Bloom aufbereitet [BKM84]. Das erste Kapitel bringt den Anwendern die Grundfunktionen von Facebook näher, indem unter anderem erklärt wird, wie der Anmeldeprozess bei Facebook funktioniert, Freundschaftsanfragen gesendet und empfangen werden, über die Plattform kommuniziert, Freundeslisten und Gruppen erstellt und Personen bzw. abonniert werden können. Daran schließt ein Kapitel an, welches sich mit dem

sicheren Umgang von Facebook beschäftigt.

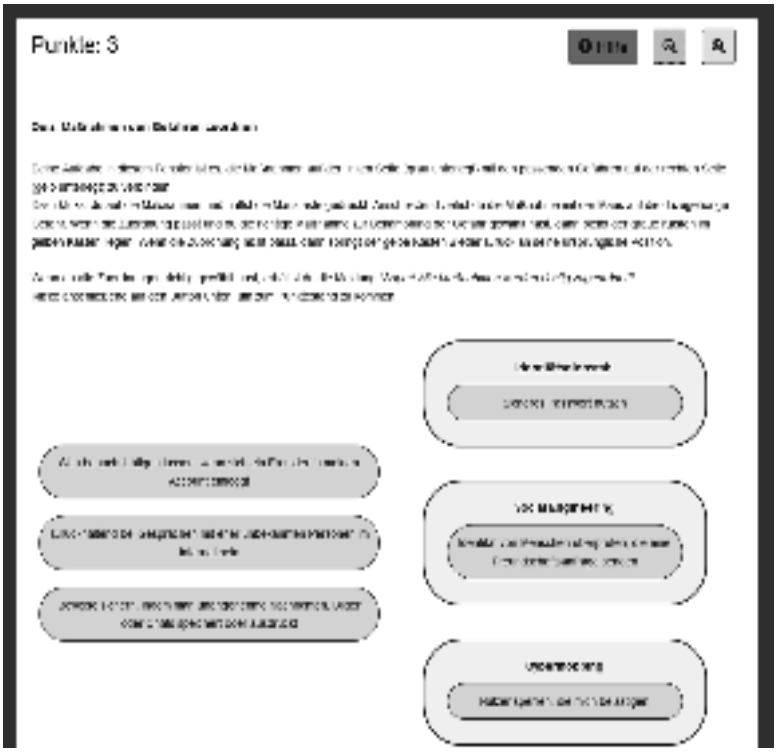


Abb. 1 Zuordnungsspiel im CDG

Es wird verdeutlicht, welche grundlegenden Verhaltensrichtlinien in sozialen Netzwerken eingehalten werden sollten, wie ein sicheres Passwort gewählt wird und wie Kontoeinstellungen vorgenommen werden, um den Account zu schützen sowie die Privatsphäre zu gewährleisten. Abschließend behandelt Kapitel drei den generellen Umgang mit dem Internet. Dabei wird auf Aspekte wie Datenschutz, Urheberrechte sowie Gefahren im Internet eingegangen. Dadurch soll den Anwendern Wissen vermittelt werden mit dem die Medienkompetenz und das Sicherheitsgefühl in der Nutzung des Internets und der sozialen Medien gestärkt werden kann.

Die Kapitelinhalte werden den Nutzern durch Text, Videos und Bilder und nicht in Form eines klassischen Videospiels präsentiert, da nur ein geringer Teil dieser Altersgruppe mit Videospielen vertraut ist und dieses Medium die Nutzer vor dem CDG abhalten könnte. Damit das CDG einen Spielcharakter erhält, werden die Inhalte mit Avataren, die sich wie die Anwender neu bei Facebook anmelden, den Anwendern nähergebracht. Die Avatare begleiten den Anwender durch das gesamte CDG, sodass sich die Anwender mit den Avataren verbunden fühlen. Zusätzlich sind innerhalb der drei Kapitel Spiele in Form von

Passwort-Überprüfungen, Quiz oder Zuordnungsspielen per Drag & Drop (Abb. 1) eingebaut, so dass die Anwender ihr neu erworbenes Wissen testen und zusätzlich aktiv in den Handlungsverlauf der Avatare einwirken können. Damit zwischen den verschiedenen Anwendern eine Vergleichbarkeit erreicht wird, werden in den Spielen für richtige Antworten Punkte als Spielanreiz vergeben. Am Ende des Spiels werden die Namen der Anwender zusammen mit einem Punktestand in einer Tabelle dargestellt. So können sich verschiedene Anwender vergleichen und sehen, wer besser oder schlechter im CDG abgeschnitten hat. Des Weiteren können so die eigenen Fortschritte ebenfalls festgehalten werden.

Das CDG wurde als webbasiertes Spiel implementiert, sodass es von allen Endgeräten unterstützt wird, die einen Browser installiert haben, der die aktuellen Standards unterstützt. Zur Umsetzung der Modellierung des Spielverlaufs wurde Twine[2] verwendet. Twine ermöglicht, die durch die Avatare nähergebrachten Lerninhalte mit den einzelnen Verzweigungen, die der Spielverlauf mit sich bringt, abzubilden. Über eine graphische Oberfläche können die einzelnen Inhalte miteinander verknüpft werden. Neben der Modellierung des Spielverlaufs wurde in Twine ein Layout hinterlegt, welches beschreibt, wie die Seiten dargestellt werden sollen. Da es sich bei der Altersgruppe 50+ um ältere Menschen handelt, ist es notwendig, mögliche Einschränkungen unter anderem in den Seh-, Hör- und Wahrnehmungsfähigkeiten zu berücksichtigen und die Inhalte barrierefrei darzustellen. Dies wird durch die Einhaltung der Web Content Accessability Guidlines 2.0 (WCAG 2.0)[3], die 2008 vom World Wide Web Konsortium veröffentlicht wurden, sichergestellt. Diese geben Vorgaben vor, damit die Inhalte wahrnehmbar, bedienbar, verständlich und robust sind. Die Spiele wie Passwort-Überprüfung und Zuordnung wurden mittels JavaScript erstellt und in die einzelnen Seiten eingebunden. Damit eine Vergleichbarkeit zwischen den Punkteständen der Anwender realisiert werden kann, wurde auf dem Server zusätzlich noch eine Datenbank angelegt, die die verschiedenen Accounts der Anwender verwaltet und die zugehörigen Punkte verwaltet.

5 Evaluation des Competence Developing Game

Mittels einer Evaluation durch Teilnehmer aus der Zielgruppe 50+ wurde das CDG bewertet, um so gegebenenfalls Anpassungen an dem Spiel vornehmen zu können. Vor der ersten Evaluation durch Probanden wurde das CDG mehreren Tests unterzogen, da der erste Eindruck der Software in vielen Fällen entscheidend ist. In einem ersten Schritt wurde ein White-Box-Test durchgeführt, bei dem die Anwendung auf strukturelle und logische Fehler untersucht wurde [KK12]. Dabei wurde der Quelltext zwei Entwicklern zur Verfügung gestellt, die nicht an der Implementierung beteiligt waren. Im Anschluss führten fünf, an der Entwicklung des Spiels unbeteiligte wissenschaftliche Mitarbeiter der Universität Osnabrück einen Black-Box-Test durch [KK12]. Bei diesem Test liegt der Fokus auf der Überprüfung möglicher Fehler und Inkonsistenzen sowie der Identifikation

[2] Twine ist ein Open Source Tool mit dem interaktive Handlungsverläufe erstellt werden können, die keinen linearen Verlauf nehmen. (https://twinery.org/)
[3] Weitere Informationen finden Sie unter: https://www.w3.org/TR/WCAG20/

von Verbesserungsmöglichkeiten.

Zur weiteren Evaluation des CDG konnten insgesamt 27 Personen herangezogen werden, die zu diesem Zeitpunkt mindestens 50 Jahre alt waren. Das durchschnittliche Alter betrug 62,52 Jahre; der jüngste Teilnehmer war 50 Jahre alt und der älteste 93. Bei den Befragten waren 15 männlich und 12 weiblich. Über 70% (19) der Befragten waren noch berufstätig. Die Evaluation bestand aus zwei Teilen. Im ersten Teil spielten die Befragten ein Kapitel des CDG. Dabei wurden sie durch eine Person betreut, die bei Unklarheiten oder Problemen unterstützend wirken konnte. Im Anschluss daran wurde eine Umfrage durchgeführt. Durch diese Betreuung und Beobachtung konnten Schwierigkeiten erkannt werden, die möglicherweise bei einer reinen Befragung nicht erkannt worden wären.

Die Tatsache, dass das Spiel den Anspruch besitzt sowohl Personen, welche das erste Mal in Kontakt mit Facebook kommen, als auch diejenigen, die bereits Erfahrungen mit Facebook gesammelt haben, Informationen und Hilfestellungen zu liefern, wurde bei der Befragung ebenfalls berücksichtigt. Erstgenannte erhielten das erste Kapitel zur Bearbeitung, (12 Personen) während die anderen Kapitel zwei (7 Personen) oder Kapitel drei (8 Personen) spielten. Neben der Erfassung persönlicher Daten wurden Fragen bezüglich der generellen Gestaltung, der eingebundenen Videos, der vermittelten Lerninhalte sowie der Minispiele beantwortet. In der Auswertung lässt sich feststellen, dass insbesondere die Verbindung von Videoinhalten mit darauf aufbauenden Minispielen sehr positiv bewertet worden sind. Durch Videoinhalte kann relevantes Wissen relativ unkompliziert vermittelt werden, dass im direkten Nachgang durch die Minispiele wieder aufgerufen wird. So werden verschiedene Lernkanäle (Hören, Sehen, aktiv Mitarbeiten) nutzbar gemacht. Die grafisch übersichtliche, schlichte Gestaltung als reines webbasiertes Spiel war zweckmäßig, sollte jedoch in neueren Versionen verbessert werden. Hervorgehoben wurde von den Nutzern die Möglichkeit, die Textgröße individuell anzupassen oder alternativ sogar die Texte durch ein Plug-in vorlesen zu lassen. Bei der Bewertung der vermittelten Lerninhalte ist festzuhalten, dass diese insbesondere von der Gruppe ohne Vorkenntnisse positiv bewertet worden sind. Das kann unter anderem darauf zurückgeführt werden, dass diejenigen mit Vorkenntnissen unter Umständen die thematisierten Inhalte teilweise bereits kannten. Nichtsdestotrotz muss der Schwierigkeitsgrad der jeweils zu bearbeitenden Kapitel an die Vorkenntnisse angepasst werden, möglicherweise könnte ein Einstiegsfragebogen zu den bisherigen Kenntnissen am Anfang abgefragt werden und so die bereits vorhandene Medienkompetenz der jeweiligen Nutzer eingestuft werden. Abschließend wurden die Probanden bezüglich ihres persönlichen Lerneffektes und einer Gesamtbewertung des Spieles befragt. Dabei gab mehr als die Hälfte (ca. 52%) der Probanden an, einen deutlichen Lerneffekt erzielt zu haben. Auf die Frage, ob die Probanden ohne Vorkenntnisse sich nach dem Spiel die Nutzung von Facebook zutrauen würden, bejahten 50% diese. Bei der abschließenden Gesamtbewertung erfolgte die Bewertung nach Schulnoten. Hier wurde das Spiel im Durchschnitt mit „gut“ bewertet. Des Weiteren konnten zu den verschiedenen Fragen auch Freitextfelder ausgefüllt werden. Die Ergebnisse sind zusammengefasst in Tabelle 1 dargestellt. Diese Aussagen bestätigen den insgesamt sehr positiven Eindruck und weisen auf weitere Verbesserungspotenziale hin, die in nachfolgenden Versionen des CDG ausgeschöpft werden sollen.

Positive Aspekte	Negative Aspekte
Informative Videos	Lautstärke teilweise zu hoch
Übersichtliche Gestaltung der Website	Probleme bei mobilen Endgeräten
Geringe Einstiegshürde bei den Minispielen	Teilweise zu viel Text
Intuitive Navigation	
Bestenliste sorgt für Vergleichsmöglichkeiten der eigenen Leistung	
Unterteilung in übersichtliche Abschnitte	
Möglichkeit an der Stelle fortzusetzen an der zuletzt das CDG beendet worden ist	

Tab. 1: Feedback aus den Freitextantworten

6 Fazit und Ausblick

Auf Basis einer Literaturrecherche und bisher existierenden Anwendungen wurde ein webbasiertes CDG für die Generation 50+ entwickelt und evaluiert, in dem Spielerinnen und Spielern das soziale Netzwerk Facebook nähergebracht wird. Durch die Auswahl der Suchkriterien besteht jedoch die Möglichkeit, dass nicht alle relevanten Arbeiten erfasst worden sind. Des Weiteren sind die Anwendungsszenarien und die davon abhängigen Faktoren bei CDG stark unterschiedlich von der Zielgruppe und dem konkreten Kontext. Bisherige Forschungsarbeiten haben gezeigt, dass der Zeitaufwand für das Erlernen der Spiele bzw. Spielregeln minimiert werden sollte (Mitchell 2001). Das gilt umso mehr für ältere Menschen. Mithilfe der Twine-Engine wurde ein Webbasiertes Spiel erstellt, das Grundlagen über Facebook vermittelt und die Themen Datenschutz und Datensicherheit näherbringt. Webbasierte Spiele bieten zahlreiche Vorteile, bspw. ist keine weitere Softwareinstallation und damit verbundener Aufwand für die Bedienung der Software notwendig. Twine eignet sich für das Abbilden von interaktiven Handlungsverläufen und kann als Ausgangsbasis für die Gestaltung eines CDG genutzt werden. Jedoch ist zu beachten, dass Erweiterungen bzw. die Einbindung von umfangreichen Spielelementen unter Umständen kompliziert werden kann. Bei der Gestaltung des CDG wurden die WCAG2 Richtlinien berücksichtigt, es ist jedoch anzumerken, dass die Einstufung hier nach eigenem Ermessen erfolgt. Zur Sicherstellung der Richtlinien und der Usability wurden diese jedoch auch von Dritten geprüft. Die ersten Ergebnisse zeigen einen deutlichen Lerneffekt der Probanden, bei ebenfalls positiven Bewertungen hinsichtlich der Gestaltung.

Basierend auf dieser Untersuchung, ergeben sich des Weiteren Ansätze für zukünftige Weiterentwicklungen. So bietet die Entwicklung eines Einstufungstests, die konstante Erweiterung der Inhalte und die Einbindung weiterer Minispiele interessante Möglichkeiten. Außerdem ist eine Verbesserung des CDG für mobile Endgeräte angedacht. Bei diesen Weiterentwicklungen sollte eine partizipatorische Entwicklung des CDG durch Einbeziehen der Anwender sowie, wie bisher, auch eine konstante Evaluation erfolgen, um bedarfs-

und anforderungsgerecht für die identifizierte Zielgruppe zu arbeiten.

Danksagung

Die Autoren danken den Teilnehmern der Studie, den Projektmitgliedern, explizit Victor Brinkhege, Sascha Janßen, David Rahenbrock und Kai Steenblock für ihre Mitarbeit sowie den Gutachtern für ihr substanzielles Feedback.

Literaturverzeichnis

[Be17] Belliger, A.: Hilfe, die Silver Surfer kommen!? Die Generation 60+ und ihr verändertes Kommunikationsverhalten im Web. Digitale Transformation von Dienstleistungen im Gesundheitswesen II. Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden, S. 227–240, 2017.

[Bi16] BITKOM, https://www.bitkom.org/Presse/Presseinformation/Zwei-von-drei-Internetnutzern-sind-in-sozialen-Netzwerken-aktiv.html, Stand: 18.04. 2017.

[BKM84] Bloom, B.; Krathwohl, D.; Masia, B.: Bloom taxonomy of educational objectives. Pearson Education, 1984.

[Ce14] Cetto, A.; Netter, M.; Pernul, G.; Richthammer, C.; Riesner, M.; Roth, C.; Sänger, J.: Friend Inspector: A Serious Game to Enhance Privacy Awareness in Social Networks. (2014).

[CLM14] Catalano, C. E.; Luccini, A. M.; Mortara, M.: Best Practices for an Effective Design and Evaluation of Serious Games, 2014.

[CR17] Chapman, J.; Rich, P.: Identifying Motivational Styles in Educational Gamification. In: Proceedings of the 50th Hawaii International Conference on System Sciences, S. 1318–1327, 2017.

[Fe13] Fehling, C.; Kollmann, T.; Lackes, R.; Leymann, F.; Siepermann, M.: Kompakt-Lexikon Wirtschaftsinformatik. Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden, 2013.

[Fr16] Friemel, T. N.: The digital divide has grown old: Determinants of a digital divide among seniors. In: New Media & Society, S. 313–331, 2016.

[Gi14] Giessen, H. W.: Serious Games Effects: An Overview. In: Procedia - Social and Behavioral Sciences 174, S. 2240–2244, 2015.

[HBD15] Helms, R. W, Barneveld, R, Dalpiaz, F.: A method for the design of gamified trainings.In: Proceedings of the Pacific Asian Conference on Information Systems, 2015.

[HM15] Hao, S.; Miao, C.: Survey on Serious Game for Elderly. In: International Journal of Information Technology, S. 1–22, 2015.

[HSP14] Hope, A.; Schwaba, T.; Piper, A. M.: Understanding digital and material social communications for older adults. In: CHI'14 Proceedings of the 32nd annual ACM

conference on Human factors in computing systems, S. 3903–3912, 2014.

[KK12] Khan, M. E.; Khan, F.: A Comparative Study of White Box, Black Box and Grey Box Testing Techniques. In: International Journal of Advanced Computer Science and Applications, S. 12–15, 2012.

[KLO16] Kim, K.; Lee, Y.; Oh, D.: Development and Testing of a Serious Game for the Elderly. In (De Gloria, A.; Veltkamp, R. Hrsg.): 4th International Conference GALA, S. 276–285, 2016.

[KW16] König, J. A.; Wolf, M. R.: The Pyramid Assessment Framework for 'Competence Developing Games'. In: International Conference on Human-Computer Interaction. Springer International Publishing, S.232-237, 2016.

[Le14] Leonhardt, S.; Kassel, S.; Randow, A.; Teich, T.: Learning in the Context of an Ambient Assisted Living Apartment: Including Methods of Serious Gaming. In (Motta, G.; Wu, B. Hrsg.) Software Engineering Education for a Global E-Service Economy, S. 49–55, 2014.

[LP13] Lee, J.; Park, S.; Korea, S.: A Study on Interface Design of Serious Game for the Elderly. In: Advanced Science and Technology Letters, S. 159–163, 2013.

[Mö15] Möbert, P.: Chancen und Grenzen des „Social Business". Springer Berlin u.a., S. 191–202, 2015

[St16a] Statista, https://de.statista.com/statistik/daten/studie/219903/umfrage/prognose-zur-anzahl-der-weltweiten-nutzer-sozialer-netzwerke/, Stand: 18.04.2017.

[St16b] Statista, https://de.statista.com/statistik/daten/studie/248981/umfrage/altersstruktur-in-den-eu-laendern/, Stand: 18.04.2017.

[St17] Statista, https://de.statista.com/statistik/daten/studie/273406/umfrage/entwicklung-der-lebenserwartung-bei-geburt--in-deutschland-nach-geschlecht/, Stand: 18.04.2017.

[TWW14] Tesch-Römer, C.; Wiest, M.; Wurm, S.: Einsamkeit im Alter – im Themenspektrum von Wissenschaft und bürgerschaftlichem Engagement. In: Informationsdienst Altersfragen, 2014.

[Va12] Vasconcelos, A.; Silva, P.; Caseiro, J.: Designing tablet-based games for seniors: the example of CogniPlay, a cognitive gaming platform. In: Proceedings of the 4th International Conference on Fun and Games, S. 1–10, 2012.

[Wa12] Wang, Q.; Com, B.; Myers, M. D.; Sundaram, D.: Digital Natives and Digital Immigrants Towards a Model of Digital Fluency, In: Business & Information Systems Engineering, 2012.

[WK14] Wanka, J.; Kempf, D.: Senioren in der digitalen Welt. 2014.

[Wo13] Wouters, P.; van Nimwegen, C.; van Oostendorp, H.; van der Spek, E. D.: A Meta-Analysis of the Cognitive and Motivational Effects of Serious Games. In: Journal of Educational Psychology, S. 249–265, 2013.

[WW02] Webster, J.; Watson, R. T.: Analyzing the past to prepare for the future : Writing a literature review, In: MIS Quarterly 26 Vol. 2, S. xiii–xxiii, 2002.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 427

Brettspiel zur Entwicklung von Fachkompetenz in verschiedenen Themengebieten mittels Gamification

Bahar Kutun[1] und Werner Schmidt[2]

Abstract: Gamification dient der Motivation von Personen bei der Erledigung von Aufgaben durch die Übertragung von Spielelementen auf nicht spielerische Bereiche. Ein wichtiges Anwendungsfeld ist die Bildung, wo die Aufgabe für den Lerner darin besteht, sich Kompetenzen in bestimmten Wissensgebieten anzueignen. Der Beitrag stellt Design und Prototyp eines Brettspiels vor, das Spieler mit adäquaten Spielmechanismen dazu motivieren und sie dabei unterstützen soll.

Keywords: Gamification, Brettspiel, Wissensvermittlung, Kompetenzaufbau

1 Einführung

Gamification kann verstanden werden als Einsatz von Spielelementen in nicht spielerischem Kontext, mit dem Ziel, Menschen zu Handlungen zu motivieren und die Motivation aufrecht zu erhalten [De11]. Basierend auf diesem Verständnis wurde im Rahmen einer Masterarbeit ein Brettspiel entwickelt, das die Motivation von Studierenden für die Aneignung eher „trockenen" Lernstoffs steigern soll. Konkreter Inhalt für den Einsatz in einem Bachelorkurs im Studiengang Wirtschaftsinformatik sollten grundlegende Modelle des Wissensmanagements wie das SECI-Modell sein [vgl. Ta17]. Das Design des Spiels sollte jedoch so generisch sein, dass mit geringem Aufwand auch andere Fachgebiete vermittelt werden können. Bei der Art des Spiels fiel die Wahl nicht auf ein digitales Spiel, sondern auf ein Brettspiel, da Umfragen unter Studenten zufolge Brettspiele bei zwei Dritteln deren beliebteste Spieleart sind [Be16]. Der vorliegende Beitrag skizziert in Abschnitt 2 die wesentlichen Überlegungen für den Entwurf des Spiels, ehe in Kapitel 3 kurz der daraus resultierende Prototyp mit seinen Einsatzszenarien vorgestellt wird. Hinweise zur Evaluation und ein Ausblick runden den Artikel in Kapitel 4 ab.

2 Entwurf des Spiels

Grundidee

Als grundlegende Anforderungen wurden die Motivationssteigerung beim Lernenden und die Flexibilität beim Einsatz für die Lehrenden und Lernenden identifiziert. Eine detaillierte Anforderungsliste findet sich bei [TSS16]. Zur Erfüllung der Anforderungen

[1] Technische Hochschule Ingolstadt, Esplanade 10, 85049 Ingolstadt, Bahar.Kutun@thi.de
[2] Technische Hochschule Ingolstadt, Esplanade 10, 85049 Ingolstadt, Werner.Schmidt@thi.de

doi:10.18420/in2017_36

wurde ein Brettspiel mit mehreren inhaltlichen Domänen, dazu passenden Fragekarten, Ereignisfeldern für Variationen beim Spielverlauf sowie weiteren Spielmaterialien und Spielregeln konzipiert. Dabei ließen wir uns u.a. von wesentlichen Aspekten des Spieldesigns leiten, wie Spielertypen [Ba96], Spielmechanismen (z.B. [HKS14], [SS12]) und dem Micro-Content-Gedanken des Micro Learning [Ro09].

Spielbrett

Das Spielbrett ist modular aufgebaut und erweiterbar. Jedes Modul bezieht sich auf eine Wissensdomäne und enthält zehn Fragefelder, je ein Start- und Zielfeld (dienen auch als Verknüpfung von Modulen mit „Brücken“) sowie drei Ereignisfelder, die von sechs unterschiedlichen Typen sein können (vgl. Abb. 1).

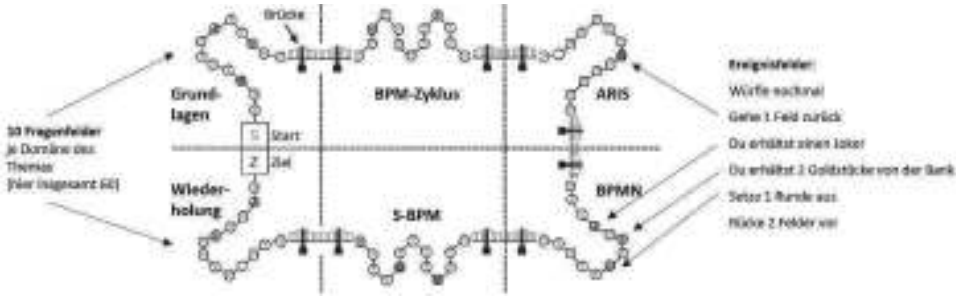


Abb. 1: Spielvariante mit sechs Domänen zum Thema Business Process Management

Die Spieler können selbst entscheiden, wie viele Module, d.h. Wissensdomänen sie in welcher Reihenfolge spielen wollen. Alternativ kann dies der Lehrende vorgeben. Erfahrungsgemäß erscheinen vier bis sechs Module bei ebenso vielen Spielern für einen Zeitraum von 70 bis 90 Minuten angemessen, auch wegen der räumlichen Überschaubarkeit des Aufbaus und der Erreichbarkeit von Spielfiguren und Karten.

Das flexible Modulkonzept erlaubt außerdem nicht nur den Wechsel des gesamten Themengebiets, sondern auch eine Detaillierung durch Hierarchisierung von Lerneinheiten innerhalb eines Gebietes. Voraussetzung ist lediglich die Verfügbarkeit passender Fragekarten (vgl. Abschnitt 3). Abbildung 2 zeigt eine solche Detaillierung der Inhalte am Beispiel der Variante für Business Process Management.

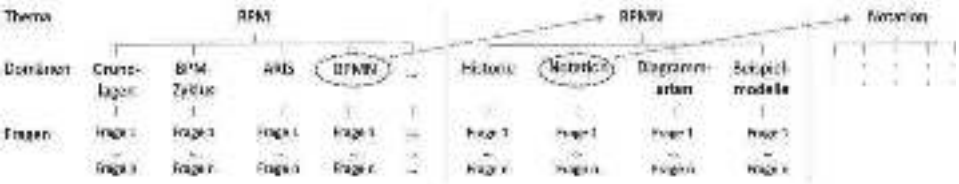


Abb. 2: Strukturierung des Inhalts (Detaillierung von links nach rechts)

Fragenkarten

Je Wissensdomäne sind zehn gleichfarbige Karten vorgesehen, welche auf der Vorderseite eine Frage und die mit der richtigen Antwort erreichbare Anzahl Goldmünzen sowie auf der Rückseite die Antwort enthalten. Um Abwechslung zu erreichen, sind als Fragetypen neben offenen Fragen mit Textantworten, geschlossenen Fragen (ja/nein, Auswahl) auch Lückentexte und –grafiken zum Ausfüllen sowie kleine Puzzles und Kreuzworträtsel realisiert [TSS16, Ta17].

Spielmechanismen und Spielertypen

Die Auswahl verwendeter Spielmechanismen basiert auf deren Eignung zum Ansprechen der von Bartle identifizierten Spielertypen Explorer, Achiever, Socializer und Killer mit ihren Charakteristika [Ba96]. Eine entsprechende Zuordnung findet sich etwa bei [SS12]. Tabelle 1 zeigt ausschnittsweise wie ausgewählte Mechanismen beim Brettspiel umgesetzt wurden und welche Spielertypen damit erreicht werden sollen (für eine ausführlichere Liste [vgl. TSS16]).

Spielmechanismen..	… und ihre Realisierung im Spiel	Killers	Achiever	Socialize	Explorer
Klare Ziele	Erhalte so viele Goldmünzen wie möglich	X	X		
Aufgaben (Quests)	Fragen und Aufgaben verschiedenen Typs	X	X		X
Countdown	Möglich durch Setzen und Überwachen von Zeitlimits	X	X		X
Ergebnistransparenz	Fragenkarte zeigt Anzahl der Goldmünzen für richtige Antwort	X	X		
Feedback	Antworten sind auf der Rückseite der Fragenkarten zu finden	X	X	X	X
Ranking-Liste	Erworbene Münzen und damit der Spielstand sind sichtbar	X	X		

Tab. 1: Ausgewählte Spielmechanismen, Umsetzung und Adressierung von Spielertypen

3 Prototyp

Spielset

Abbildung 3 illustriert den auf Basis der vorgestellten Konzeption realisierten Prototyp mit den in jedem Spielset enthaltenen Materialien.

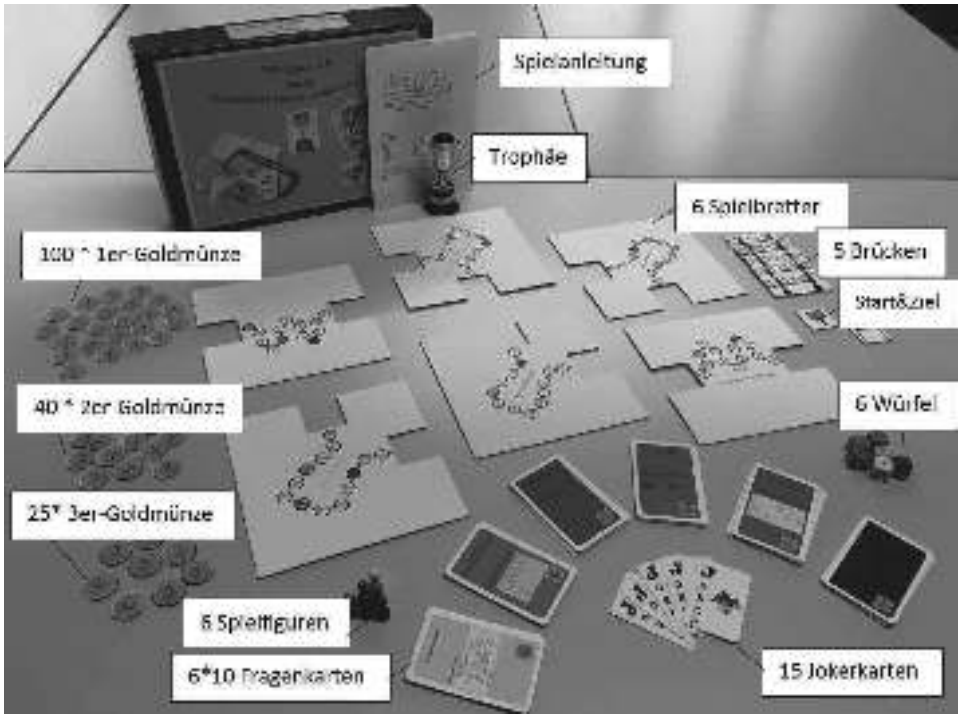


Abb. 3: Komplettes Spielset des Prototypen

Inhaltsvarianten und Anpassung

Nach ersten positiven Erfahrungen mit dem Prototypen zum Wissensmanagement (vgl. Abschnitt 4) wurde das generische Konzept auch verwendet, um Varianten für die Vermittlung von Grundkenntnissen in den Themen Business Process Management und IT-Management zu realisieren. Hierzu wurden in einer Excel-Tabelle für die Inhalte gruppiert nach Domänen (z.B. ARIS, BPMN) Fragen und Antworten formuliert und der Fragentyp spezifiziert. Mit der Serienbrieffunktion konnten daraufhin Etiketten mit den Fragen und Antworten gedruckt und damit Blanko-Spielkarten beklebt werden. So lässt sich das Spiel mit geringem Aufwand an andere Themengebiete anpassen oder innerhalb bestehender Gebiete inhaltlich vertiefen. Nennenswerter manueller Aufwand fällt nur für die Realisierung besonderer Aufgabentypen, wie Puzzle und Kreuzworträtsel, an.

Spielverlauf und Einsatzszenarien

Die Spieler setzen nach Vorgabe des Dozenten oder nach eigenen Präferenzen das Spielfeld zusammen und bestimmen dabei Anzahl und Reihenfolge der Inhaltsdomänen. Anschließend bewegen sie ihre Spielfiguren durch Würfeln über das Brett und beantworten dabei die Fragen und befolgen die Anweisungen der Ereigniskarten. Fragen und Antworten werden laut vorgelesen, so dass alle Spieler folgen und ggf. mitdiskutieren können, ob eine Antwort als richtig erachtet wird. Das Spiel endet, wenn einer der Spieler

das Ziel erreicht hat oder nach Ablauf einer definierten Spielzeit. Gewinner ist, wer bis dahin mit den erworbenen Goldmünzen den höchsten Gesamtwert erzielt hat.

Das Spiel eignet sich je nach Einsatzart für verschiedene Zwecke. Beispielswiese kann es der Verfestigung, Wiederholung und Lernzielerfolgskontrolle dienen, wenn vorher fachlicher Input durch Trainer oder Selbststudium anhand von Literatur (Bücher, Skript etc.) erfolgt ist. Denkbar ist aber auch, dass es ohne direkte Vorbereitung gespielt wird, z.B. zur Ermittlung des individuellen Wissensstandes in heterogenen Lernergruppen.

4 Evaluation und Ausblick

Nach einem erfolgreichen technischen Test mit vier Studenten, bei dem die Nachvollziehbarkeit von Spielanleitung und –regeln sowie die Spieldauer überprüft wurde, erfolgte der erste Echteinsatz mit positiver Evaluation im Wissensmanagementkurs an der TH Nürnberg. Der Großteil der Studierenden bestätigte, dass er durch das Spiel Kompetenzen im Themengebiet aufbauen bzw. vertiefen konnte, und auch die Bewertung aus Dozentensicht war positiv (für Details siehe [TSS16]). Auf der 12th International Conference on Knowledge Management (ICKM 2016) wurde das Spiel mit Wissensmanagement-Experten aus Forschung und Lehre getestet. Auch diese Zielgruppe konstatierte motivationssteigernde Wirkung. Abbildung 4 zeigt die abschließende Bewertung der Lehrveranstaltungs- und Konferenzteilnehmer. Auch wenn die bisherigen Ergebnisse statistisch nicht belastbar sind, lassen sie die qualitative Einschätzung zu, dass das Spiel ein wertvoller Baustein im didaktischen Mix bei der Vermittlung von Kompetenzen sein kann. Bei der Entscheidung der Teilnehmer zu Anzahl und Inhalt der zu spielenden Domänen sowie bei den Diskussionen über Antworten zu den Fragen war zudem zu beobachten, dass das Spiel neben Fachkompetenzen auch soziale Kompetenzen, wie Diskussionskultur und Teamfähigkeit, fördert.

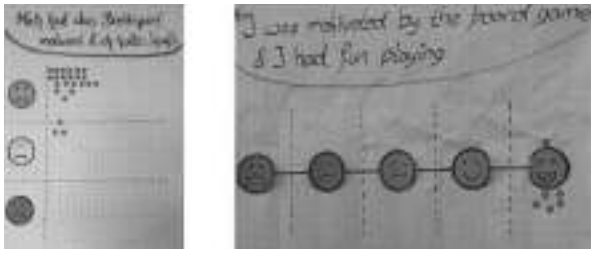


Abb. 4: Abschlussfrage der Evaluation bei Lehrveranstaltung (links) und Konferenz (rechts)

Künftige weitere Evaluationen mit den verschiedenen Inhaltsvarianten in unterschiedlichen Zielgruppen und Einsatzszenarien sollen zusätzliche Erkenntnisse für die Wirkung und Weiterentwicklung des Spiels liefern. Außerdem wird an anderen Ansätzen gearbeitet, Wissen spielerisch zu vermitteln, etwa mit Memory-Spielen.

Literaturverzeichnis

[Ba96] Bartle R. Hearts, Clubs, Diamonds, Spades: Players who suit MUDs. Journal of MUD research 1996; 1:1, http://mud.co.uk/richard/hcds.htm, Stand: 19.05.2016.

[Be16] Bell J. Why board games are hot again, https://newtrail.ualberta.ca/featurestories/why-board-games-are-hot-again, Stand: 19.05.2016.

[De11] Deterding, S, Khaled, R, Nacke, L, Dixon, D. Gamification: Toward a definition. CHI 2011 Gamification Workshop Proceedings; 2011. p.12-15.

[HKS14] Hamari J, Koivisto J, Sarsa H. Does gamification work? A literature review of empirical studies on gamification. Proceedings of the 47th Hawaii International Conference of System Sciences (HICCS); 2014. P. 3025-3034.

[Ro09] Robes J. Microlearning und Microtraining: Flexible Kurzformate in der Weiterbildung. In: Wilbers K (Ed.) Handbuch E-Learning. Köln: Dt. Wirtschaftsdienst; 2009.

[SS12] Schacht M, Schacht S. Start the game: increasing user experience of enterprise systems following a gamification mechanism. In: Maedche A, Botzenhardt A, Neer L (Eds.). Software for people. Heidelberg: Springer, 2012, p.181-199.

[Ta17] Taspinar, B: Konzeption und prototypische Entwicklung eines Brettspiels zur interaktiven Gestaltung der Lehrveranstaltung “Wissensmanagement” mittels Gamification, in Schmidt, W. (Ed.), Business Processes in the Wild, Institute of Innovative Process Management e.V., Ingolstadt, 2017.

[TSS16] Taspinar, B., Schmidt W. und Schuhbauer, H.: Gamification in education: a board game approach to knowledge acquisition. International Conference on Knowledge Management (ICKM), 10.-11. Oktober 2016, Elsevier, Vienna, 2016.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 433

Horus Gamification: Ein Prototyp zum Einsatz von Gamification im Rahmen des Social BPM

Nicolas Pflanzl[1], Arthur Vetter[2], Kai Hussong[2], Andreas Oberweis[3], Frank Schönthaler[2] und Gottfried Vossen[1,4]

Abstract: Gamification ist ein seit Jahren anhaltender Trend, durch den die motivations- und leistungssteigernden Effekte von Spielen auf andere Kontexte jenseits der Unterhaltung übertragen werden sollen. Die Autoren haben sich zum Ziel gesetzt, diese positiven Auswirkungen auf den Kontext der Geschäftsprozessmodellierung, insbesondere auf das Social BPM zu übertragen. In diesem Beitrag wird der in diesem Anwendungsbereich entstandene, fertig realisierte und lauffähige Prototyp „Horus Gamification" vorgestellt. Außerdem werden erste Evaluationsergebnisse zum Einsatz des Prototyps im universitären Umfeld beschrieben und aufbauend auf diesen Ergebnissen die nächsten Entwicklungsschritte abgeleitet.

Keywords: Gamification, Social BPM, Geschäftsprozessmodellierung

1 Einleitung

Gamification bezeichnet die Nutzung von Spieleelementen in Nicht-Spiele-Kontexten wie bspw. Gesundheit, Bildung oder Arbeit [DE11]. Positive Effekte manifestieren sich bei den Nutzern gamifizierter Systeme auf unterschiedliche Art, wie bspw. gesteigerte Motivation und Spaß, erhöhte Bindung und verbesserte Leistung [SF15]. Die Übertragbarkeit dieser Effekte auf den Kontext „Social Business Process Management (BPM)" wird im Rahmen eines Forschungsprojekts zwischen der WWU Münster und der Horus software GmbH [Ho17] untersucht. Social BPM hat sich aus der Beobachtung entwickelt, dass es beim traditionellen Geschäftsprozessmanagement eine starke Divergenz zwischen den definierten Geschäftsprozessen und den tatsächlich gelebten Unternehmensabläufen gibt [SN09]. Ein Grund hierfür ist, dass die ausführenden Mitarbeiter von Geschäftsprozessen häufig nicht aktiv in deren Definition eingebunden sind, sondern stattdessen bereits ausgearbeitete und umgesetzte Abläufe vorgesetzt bekommen, die sie dann bereits kurz nach ihrer Einführung ignorieren [SN09]. Das Ziel beim Social BPM ist es, die Akzeptanz von Geschäftsprozessen zu erhöhen, indem alle Beteiligten in ihre Spezifikation und Verbes-

[1] WWU Münster, DBIS Group, Leonardo-Campus 3, 48149 Münster, nicolas.pflanzl@wi.uni-muenster.de, vossen@uni-muenster.de
[2] Horus software GmbH, Pforzheimer Straße 160, 76275 Ettlingen, arthur.vetter@horus.biz, kai.hussong@horus.biz, frank.schoenthaler@horus.biz
[3] Karlsruher Institut für Technologie, AIFB, Kaiserstraße 89, 76133 Karlsruhe, andreas.oberweis@kit.edu
[4] Department of Management Systems, University of Waikato, Private Bag 3105, Hamilton 3240, New Zealand, vossen@waikato.ac.nz

doi:10.18420/in2017_37

serung eingebunden werden. Dabei kommt es jedoch zu verschiedenen Herausforderungen, wie zum Beispiel die Erhöhung der Motivation der Mitarbeiter zur Partizipation, die Sicherstellung der Qualität der Arbeitsergebnisse und die Bereitstellung geeigneter Trainingsmaßnahmen [PV14]. Diese sollen durch den Einsatz von Gamification im Prozessmodellierungswerkzeug Horus adressiert werden.

Im weiteren Verlauf des Beitrags werden die umgesetzten Spieleelemente, der Prototyp, erste Evaluationsergebnisse und die weiteren Entwicklungsschritte beschrieben.

2 Gamification im Rahmen von Social BPM

Die Bandbreite an einsetzbaren Gamification-Konzepten ist groß und reicht von der Vergabe von Punkten bis zur Umsetzung fiktiver Spielehandlungen [HKS14]. Allerdings lassen sich drei elementare Spielelemente identifizieren, die in den meisten Anwendungsfällen zum Einsatz kommen: Punkte, Abzeichen und Ranglisten [HKS14]. Diese drei Elemente kommen auch in unserem Prototyp zur Anwendung und werden daher nachfolgend kurz genauer beschrieben. Punkte können von den Spielern für die Ausführung von Aktivitäten gesammelt werden und stellen eine virtuelle Währung dar. Abzeichen können für besondere Tätigkeiten vergeben werden, und werden im Nutzerprofil für andere User sichtbar dargestellt. Ranglisten ordnen Nutzer absteigend nach der Anzahl ihrer gesammelten Punkte und sollen somit den Wettbewerb zwischen den Nutzern anregen. Diese drei Spielelemente wurden in einem Prototyp umgesetzt, der als Modul in das Geschäftsprozessmodellierungswerkzeug Horus integriert ist. Horus erlaubt die Modellierung von verschiedensten Geschäftsprozessaspekten nach der Horus Methode, von den Unternehmenszielen und –strategien, über den Ablauf von Geschäftsprozessen, bis hin zu den Aufgabenträgern und wird in einem Verbund bestehend aus der WWU Münster, dem KIT und der Horus software GmbH kontinuierlich weiterentwickelt [SC12]. Der Aspekt des Social BPMs wird nicht nur durch Funktionen zur Kollaboration zwischen Modellierern, sondern auch durch speziell organisierte Labs unterstützt [AU16, CA13]. Das Gamification-Modul ist speziell auf die Modellierung des Ablaufs von Geschäftsprozessen ausgerichtet. Punkte können für die Erstellung von Prozessmodellen mit hoher Qualität gesammelt werden. Hierzu wurden Qualitätsmetriken aus verschiedenen Domänen operationalisiert, wie bspw. aus der Prozessmodellierung und der Graphzeichnung (siehe [Me08, Pu02]). Abzeichen werden für wünschenswertes Verhalten vergeben, wie bspw. die Erstellung von 10 Prozessmodellen oder die Verbesserung von bestehenden Prozessmodellen durch die Entfernung von 100 sich kreuzenden Kanten [Pf16]. Zusammen genommen wird durch diese Elemente die Erstellung qualitativ hochwertiger Prozessmodelle in eine spieleartige Tätigkeit transformiert. Durch das Vergeben von Belohnungen wie Punkten und Abzeichen für wünschenswertes Nutzerverhalten lernen Neulinge der Prozessmodellierung, welche Arten von Beteiligung als wertvoll und nützlich angesehen werden. Dies bietet die Möglichkeit, Kompetenzen auf dem Gebiet der Prozessmodellierung aufzubauen und den Wert der geleisteten Beiträge im Zeitablauf zu steigern, wie im folgenden Abschnitt näher beleuchtet wird.

3 Prototyp: Horus Gamification

In Abb. 1 ist der generelle Aufbau der graphischen Nutzungsoberfläche des für Horus implementierten Gamification-Moduls dargestellt. Die Nutzungsoberfläche kann in die folgenden fünf Bereiche untergliedert werden [Pf16]: Modellierungsfenster (M), Rückmeldung (R), Status (S), Verbesserungsmöglichkeiten (V) und Hilfe (H).

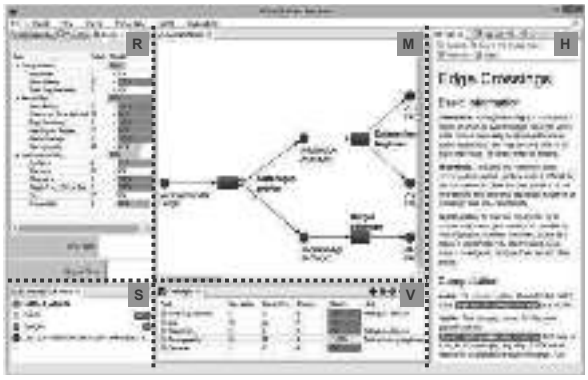


Abb. 1: Aufbau der graphischen Nutzungsoberfläche (angelehnt an [Pf16])

Das Modellierungsfenster dient zur Modellierung der Geschäftsprozesse und verwendet als Notation eine Variante höherer Petri-Netze, sogenannte XML-Netze [SC12]. Im Bereich „R“ wird dem Modellierer Rückmeldung über die Qualität seines aktuellen Modells gegeben. Dies erfolgt in Echtzeit während der Prozessmodellierung. Für die Bewertung der Qualität werden die oben genannten Qualitätsmetriken verwendet, für die die Nutzer auch Punkte sammeln können. Die Anzeige „100%“ bedeutet, dass eine Qualitätsmetrik nicht mehr weiter verbessert werden kann, beispielsweise wenn es im Modell keine sich kreuzenden Kanten mehr gibt. Im Bereich „S“ werden Statusinformationen für den aktuellen Nutzer angezeigt. Der Nutzer kann somit jederzeit sehen, wie viele Punkte und Abzeichen er bereits gesammelt hat. Beim Speichern eines Modells wird im Hintergrund analysiert, ob der Nutzer weitere Punkte gesammelt hat und eventuell ein neues Abzeichen freischalten konnte. Ist dies der Fall, so werden diese Errungenschaften direkt im Bereich „S“ angezeigt. Im Bereich „V“ werden dem Nutzer Vorschläge unterbreitet, wie das Modell weiter verbessert werden kann, was weitere Möglichkeiten zum Verdienen von Punkten bietet. Die Verbesserungsvorschläge werden dabei abhängig von den Qualitätsmetriken erzeugt, so dass der Nutzer dazu motiviert werden soll, Qualitätsdefekte des Modells zu beseitigen. Im Bereich „H“ werden dem Nutzer allgemeine Hinweise gegeben, wie einzelne Qualitätsmetriken verbessert werden können. Zusätzlich wird auf die Relevanz der Metriken eingegangen, damit der Nutzer auch den Sinn und Zweck der Verbesserung nachvollziehen kann. Zusätzlich sind ein Nutzerprofil und eine Rangliste im Gamification-Modul enthalten.

In Summe bieten die genannten Funktionen sowohl unerfahrenen Modellierern als auch

Experten zahlreiche Informationen dazu, wie sich qualitativ hochwertige Geschäftsprozessmodelle von solchen mit Defiziten unterscheiden. Darüber hinaus unterstützen Qualitäts-Rückmeldungen in Echtzeit konkrete Verbesserungsvorschläge und der Hinweisbereich unterstützt Nutzer bei der Verbesserung bestehender Modelle und ermöglicht so den Aufbau von Prozessmodellierungsfähigkeiten im Zeitablauf. Zudem werden Nutzer durch die motivierende Wirkung von Gamification dazu angeregt, sich mit einer höheren Intensität mit der Prozessmodellierung auseinanderzusetzen.

4 Evaluationsergebnisse

Eine erste Evaluation des Gamification-Moduls erfolgte im Wintersemester 2016/17 an der WWU Münster im Rahmen der Vorlesung *Einführung in die Wirtschaftsinformatik*. An dieser nahmen 250 Studierende teil, die sich im Rahmen einer Modellierungs-Fallstudie freiwillig zwischen der Arbeit auf einem Server (mit Gamification) oder im lokalen Dateisystem (ohne Gamification) entscheiden konnten. Insgesamt wurden so 560 Prozessmodelle mit und 343 Modelle ohne Gamification erstellt und abgegeben. Mittels der oben genannten Qualitätsmetriken wurden die Lesbarkeit, Verständlichkeit und Vollständigkeit der Modelle berechnet. Wie in Tab. 1 dargestellt, sind die als arithmetisches Mittel gemessenen Resultate der gamifizierten Variante durchweg besser, wobei die Differenzen zwischen ca. 1% und 10% liegen. Insbesondere die Vollständigkeit der mit Gamification erstellten Modelle ist deutlich höher, was nahelegt, dass die Studierenden aus den Metriken konkrete Ziele für die zu erstellenden Modelle abgeleitet haben. Die statistische Signifikanz der Unterschiede wurde durch einen Mann-Whitney-U-Test beim Signifikanzniveau $p=0{,}01$ nachgewiesen. Insgesamt stimmen die Evaluationsergebnisse positiv; für eine klarere Positionierung sind jedoch weitere Evaluationen geplant. Unter anderem soll der Prototyp auch im Rahmen von Social Labs zur Anwendung kommen und evaluiert werden.

Gamification	Lesbarkeit	Verständlichkeit	Vollständigkeit
Ja (n=560)	92,31%	78,49%	86,39%
Nein (n=343)	91,28%	73,79%	76.84%

Tab. 1: Evaluationsergebnisse zur Modellqualität im Wintersemester 2016/17

5 Fazit und Ausblick

Aufgrund der bisherigen positiven Erfahrungen ist eine Weiterentwicklung des Prototyps geplant. Dazu sollen unter anderem die Nutzerprofile erweitert werden, sodass Nutzer nicht nur eigene Fähigkeiten definieren können, sondern Horus den Nutzer auf Basis der Gamification-Auswertungen selber Fähigkeiten zuweist und diese auch durch andere Nutzer bestätigt werden können. Zudem sollen weitere Evaluationen durchgeführt werden, um den Einfluss von Gamification auf die kollaborative Prozessmodellierung genauer zu

untersuchen. Zuletzt bietet der Aspekt des Datenschutzes Potenzial für zukünftige Forschung. So können die durch das Gamification-Modul erhobenen Daten auch zur Mitarbeiterkontrolle genutzt werden, was im Widerspruch zur Idee von Social BPM steht und daher soweit wie möglich verhindert werden sollte.

Literaturverzeichnis

[AU16] Augenstein, D. et.al.: Experience Report: Social BPM Lab enhanced with participation of professionals. In: Modellierung (Workshops), 2016, S. 71–78

[CA13] Caporale, T. et.al.: Social BPM Lab–Characterization of a Collaborative Approach for Business Process Management Education. In: Business Informatics (CBI), 2013 IEEE 15th Conference on: IEEE, 2013, S. 367–373

[DE11] Deterding, S. et.al.: From game design elements to gamefulness: defining gamification. In: Proceedings of the 15th international academic MindTrek conference: Envisioning future media environments: ACM, 2011, S. 9–15

[HKS14] Hamari, J.; Koivisto, J.; Sarsa, H.: Does gamification work? – a literature review of empirical studies on gamification. In: 47th Hawaii International Conference on System Sciences: IEEE, 2014, S. 3025–3034

[Ho17] Horus software GmbH: URL http://www.horus.biz/de/. abgerufen am 2017-08-05

[Me08] Mendling, J.: Metrics for process models: empirical foundations of verification, error prediction, and guidelines for correctness. Bd. 6: Springer Science & Business Media, 2008

[Pf16] Pflanzl, N.: Gameful Business Process Modeling. In: 7th International Workshop on Enterprise Modeling and Information Systems Architectures, 2016

[Pu02] Purchase, H. C.: Metrics for graph drawing aesthetics. In: Journal of Visual Languages & Computing Bd. 13, 2002, Nr. 5, S. 501–516

[PV14] Pflanzl, N.; Vossen, G.: Challenges of Social Business Process Management. In: 47th Hawaii International Conference on System Sciences: IEEE, 2014, S. 3868–3877

[SC12] Schönthaler, F. et.al.: Business Processes for Business Communities: Modeling Languages, Methods, Tools: Springer, 2012

[SF15] Seaborn, K.; Fels, D. I.: Gamification in theory and action: A survey. In: International Journal of Human-Computer Studies Bd. 74, 2015, S. 14–31

[SN09] Schmidt, R.; Nurcan, S.: BPM and social software. In: Business Process Management Workshops: Springer, 2009, S. 649–658

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 439

Game of Chefs - Ein Software-Prototyp für das Fach „Deutsch als Fremdsprache“

Jessica Köhler[1]

Abstract: Die Motivation beim Lernen aufrecht zu erhalten, ist ein schwieriges Unterfangen. Hingegen ist die Motivation Spiele zu spielen in den meisten Fällen recht hoch. Der vorliegende Beitrag stellt einen Ansatz vor, eine Sprachlern-Applikation mit Spielelementen zu konzipieren und zu realisieren, sowie den Einfluss dieser sog. Gamification auf die Motivation zu evaluieren. Um eine hohe Erreichbarkeit des Software-Prototyps zu erreichen, wurde dieser als Web-Applikation entwickelt und ist für die Lernenden über einen Browser nutzbar. Besonderes Augenmerk wurde bei der Erstellung auf den Bezug zur Lebenswelt der Lernenden gelegt und das Setting entsprechend gewählt. Die Lern-Applikation nutzt Rezepte, die aus Zutatenliste und Zubereitungsschritten bestehen, als Aufgabenbasis. Die Zutaten werden als Bilder dargestellt, die deutsche Aussprache ist in Audiodateien hinterlegt.
Bei der Weiterentwicklung des Prototyps sollte darauf geachtet werden, dass Spracheingaben ermöglicht werden und Animationen zum Einsatz kommen, um den Lernenden weitere Vorteile computergestützten Lernens zu bieten. Die durch die Evaluation des Prototyps aufgezeigten Schwachstellen in der Benutzerführung sollten behoben werden. Weitere Nutzertests mit einem größeren Stichprobenumfang müssen geplant und durchgeführt werden.

Keywords: Gamification; Competence Developing Games

1 „Game of Chefs“: Einführung und Rahmen

Im Rahmen einer Diplomarbeit wurde eine Web-basierte Lern-Applikation („Game of Chefs“ [2]) zur Unterstützung beim Fremdsprachenerwerb entwickelt. Hierzu wurden sowohl die Eignung von Spielelementen zur Integration in die Applikation (vgl. [SSS14]) als auch Theorien zur Motivation von Sailer [Sa16] berücksichtigt. Er sieht in Spielelementen die Möglichkeit, die drei Grundbedürfnisse (Kompetenzerleben, Autonomieerleben und Erleben sozialer Eingebundenheit), die einem jeden Menschen innewohnen, zu befriedigen und somit die Motivation von Lernenden zu fördern. Auf dieser Grundlage wurden diejenigen Elemente ausgewählt, die später in der Sprachlern-Applikation eingesetzt werden sollten. Ein weiterer wichtiger Aspekt bei der Auswahl der Elemente war der, dass diese auch zur Lern-Applikation selbst passen mussten.

[1] Universität Koblenz-Landau, Institut für Wissensmedien, Universitätsstrasse 1, 56070 Koblenz, Deutschland, linus@uni-koblenz.de
[2] linus.ko-ld.de

doi:10.18420/in2017_38

Zu Beginn der Arbeit wurden verschiedene Lern-Applikationen zum Fach „Deutsch als Fremdsprache“ betrachtet. „Lern Deutsch - Stadt der Wörter“ [Go16a] und „Lernabenteuer Deutsch - Das Geheimnis der Himmelsscheibe“ [Go16b] des Goethe-Instituts e.V. sowie „German with Moritz“ [Kr15] sind Beispiele für bereits vorhandene „gamifizierte“ Lernapplikationen.
Besonders „Stadt der Wörter“ nutzt viele Elemente aus Spielen, wie Bestenlisten („Hall of Fame“), Avatare, Badges und die Möglichkeit, Ergebnisse auf einer sozialen Plattform zu veröffentlichen. Des Weiteren können Lernende miteinander interagieren, indem sie sich gegenseitig zu Duellen herausfordern.

Bei der Erstellung von „Game of Chefs“ wurde darauf geachtet, dass die Aufgaben in einem Bezug zur Lebenswelt der Lernenden stehen. Des Weiteren sollten die Aufgaben in einem engen Kontext zueinander stehen und es möglich machen, die gelernten Worte nicht nur als alleinstehende Vokabeln auswendig zu lernen. Die Lernenden sollten diese auch im Kontext eines Satzes erleben und somit nutzen können. Die Verbindung der einzelnen Worte mit Bildern sollte die Merkleistung unterstützen.

2 Systemarchitektur

Ein wesentlicher Punkt für die Akzeptanz und Verbreitung des Prototyps ist eine unkomplizierte, für die Nutzerinnen und Nutzer bekannte Form der Erreichbarkeit. Aus technischer Sicht bot sich die Erstellung einer Web-Applikation an. Als Frontend dient ein Browser, dieser ist den Lernenden aus dem Alltag bekannt und sowohl auf Desktops als auch mobilen Geräten verfügbar. Das Backend besteht aus einem Web-Server, einer Datenbank und JSON Dateien. Der Web-Server liefert die Dateien aus und bietet Zugriff auf die Datenbank. In dieser werden die Nutzerdaten (bspw. Login Daten) und Log Daten gespeichert. Die Inhalte (Rezepte) werden in JSON Dateien zur Verfügung gestellt. Die Datenübertragung erfolgt über HTML5, JavaScript und Ajax.

3 Beschreibung des Prototyps

Game of Chefs ist in Form einer Web-Applikation realisiert und ist eine Lerneinheit mit zwei abgeschlossenen Lernbereichen und fünf Leveln. Das Zentrum der Lernapplikation bildete die Aufgabe, ein Rezept zu verstehen. Zu Beginn müssen sich die Lernenden einen Account anlegen bzw. einloggen. In diesem Teil vor dem eigentlichen Lern- bzw. Spielgeschehen können Einstellungen vorgenommen werden (z. B. Lautstärke der Hintergrundmusik etc.).

In einem sog. „Head-up Display“ wird den Spielenden der eigene Spielstand angezeigt. Hierzu zählen der gewählte Avatar, der Punktestand im Gesamtspiel, der Punktestand im aktuell gespielten Level, die Anzahl verfaulter Fische und Leben sowie das aktuell erreichte Level. Die fauligen Fische zeigen an, wie viele Fehler der Spielende gemacht hat.

Maximal drei Fehler sind zulässig, dann wird ein Leben abgezogen und die Anzahl der verfaulten Fische wieder auf Null gesetzt. In jedem Level stehen ein oder mehr Rezepte zur Auswahl. Gespielt werden können nur Rezepte, die dem eigenen Level entsprechen oder darunter liegen. Nach Auswahl des Rezepts wird die zugehörige Zutatenliste angezeigt (vgl. Abbildung 1). Zur Zeit kann die Anzeige zwischen zwei Sprachen (englisch und deutsch) umgeschaltet werden. Repräsentiert wird jede Zutat mit Bild, Namen und benötigter Menge. In der deutschen Ansicht kann per Klick auf ein Lautsprechersymbol die Aussprache angehört werden. Im Anschluss müssen nun diese Zutaten „eingekauft“ werden. Zur Zeit wird dies über zwei Aufgabenformen gelöst - „Drag and Drop“ und „Pick Many“.

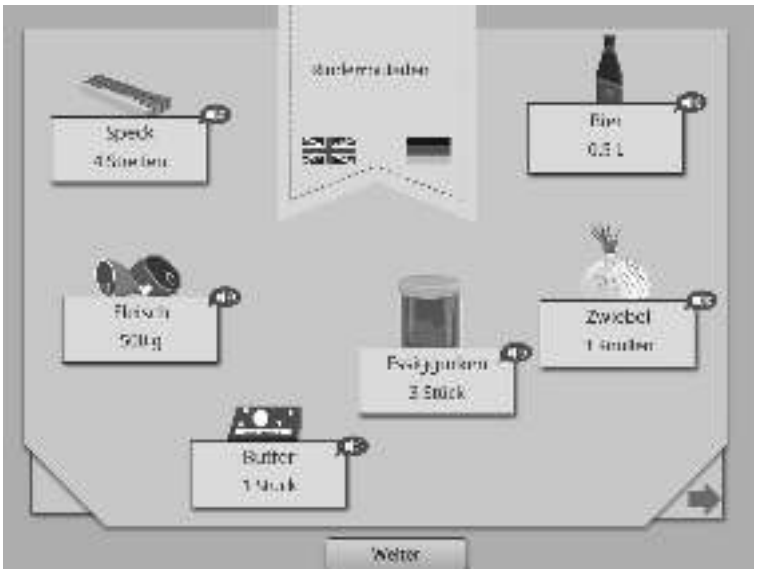


Abb. 1: Zutatenliste in „Game of Chefs“ mit den einzelnen Zutaten jeweils als Bild, Text und mit der Option, über das Lautsprechersymbol die Aussprache anzuhören.

Aus einem Marktstand müssen aus sechs angezeigten Lebensmitteln die drei richtigen Zutaten ausgewählt werden (vgl. Abbildung 2). Im Anschluss an diese Aufgabe folgt ein Memory-Spiel bestehend aus sechs Karten. Paare bilden jeweils die beiden Karten, bei denen die eine das Bild und die andere den ausgeschriebenen Bezeichner zeigen.

Werden in beiden Spielen genügend Punkte erspielt, werden nun die Zubereitungsschritte angezeigt. Für das folgende Spiel werden hieraus vier Schritte per Zufall gezogen (vgl. Abbildung 3). In einem passenden Setting muss nun bestimmt werden, welche Zutaten genannt werden und welche davon als Bild angezeigt wird. Dieses muss beispielsweise zum Schneiden auf das angezeigte Schneidbrett gelegt werden. Wird auch hier eine bestimmte Punkteschwelle überschritten, wird ein neues Level freigeschaltet.

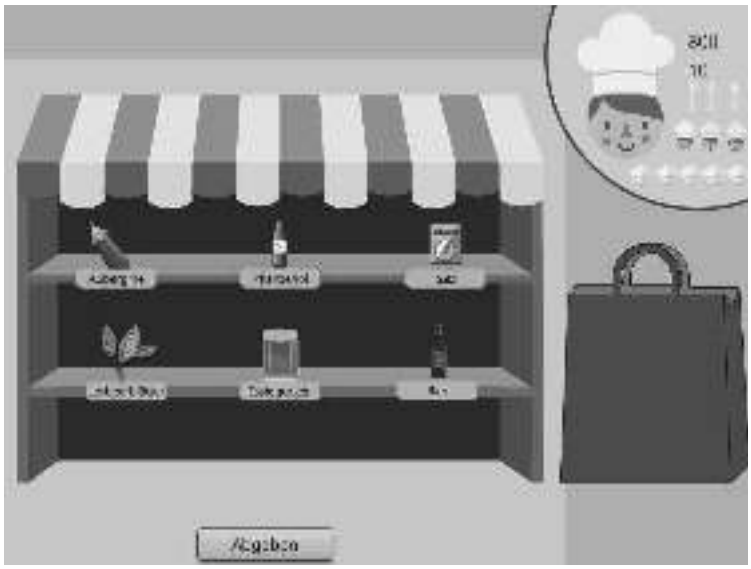


Abb. 2: Aufgabe zu den Zutaten: Marktstand mit drei Distraktoren und drei richtigen Zutaten.



Abb. 3: Aufgabe zu den Zubereitungsschritten: Identifizieren der im Satz gebrauchten Zutaten und heraussuchen der richtigen Zutat aus drei abgebildeten.

4 Fazit und Ausblick

Eine teilweise Umgestaltung des Prototyps ist nach Auswertung der Evaluationsdaten nötig, ebenso anschließende weitere Tests. Im Prototyp zeigten sich Schwachstellen in der Nutzerführung. Die Wünsche der Testpersonen nach erklärenden Animationen im zweiten Aufgabenbereich sollten erfüllt werden. Des Weiteren muss im Prototyp die Passworteingabe gesichert werden, da dieses momentan im Klartext eingegeben wird. Die Möglichkeit, die gelernten Worte per Tastatur aber auch per Spracheingabe zu überprüfen sollte eingerichtet werden. Beim computergestützten Sprachlernen sollte immer auch die Aussprache überprüft werden können.

Über eine zu entwickelnde Applikation, mit der Lehrende weitere Inhalte in das Lernmodul einbinden könnten, sollte nachgedacht werden. Hier ist es vorstellbar, eine Webapplikation zu schaffen, die es den Lehrerinnen und Lehrern ermöglicht, eigene Rezepte in das geeignete Format für „Game of Chefs“ zu bringen. Die Anwendung sollte über die Möglichkeit verfügen, bereits vorhandene Bilder und Audiodateien für eigene Rezepte zu nutzen. Die Option, Lehrende eigene Bilder und Audiodateien hochladen zu lassen, muss gründlich bedacht werden. Zum einen ist es natürlich sinnvoll und notwendig eigene Materialien einbinden zu können, zum anderen kann hierdurch jedoch das Erscheinungsbild von „Game of Chefs“ erheblich verändert und gegebenenfalls sogar negativ beeinträchtigt werden.

Literaturverzeichnis

[Go16a] Goethe-Institut e.V.: Lern Deutsch [Software]. Online, 2016.

[Go16b] Goethe-Institut e.V.: Lernabenteuer Deutsch – Das Geheimnis der Himmelsscheibe [Software]. Online, 2016.

[Kr15] Kratochvil, Michal: German with Moritz [Software], Version 954703518. Online, 2015.

[Sa16] Sailer, Michael: Die Wirkung von Gamification auf Motivation und Leistung. Springer Nature, 2016.

[SSS14] Stöcklin, Nando; Steinbach, Nico; Spannagel, Christian: QuesTanja: Konzeption einer Online-Plattform zur computerunterstützten Gamification von Unterrichtseinheiten. In: DeLFI 2014 - Die 12. e-Learning Fachtagung Informatik der Gesellschaft für Informatik e.V. (GI), Freiburg, 15.-17. September 2014. S. 151–156, 2014.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 445

Das hybride Spiel „Gipfeleroberer“

Ilse Hartmann[1] und Klemens Waldhör[2]

Abstract: Das hybride Spiel „GipfelEroberer“ wurde zur Unterstützung der Studierenden beim Erlernen und Üben von Lehrinhalten mit einem auf Gamification basierenden Ansatz entwickelt. Das Spiel besteht aus einem analogen Spielbrett, auf dem die verschiedenen Teams versuchen, als erste den Gipfel des Hohen Alpsteins durch Beantworten verschiedener Fragen zu Lehrinhalten zu erreichen und wieder sicher an den Ausgangspunkt zurückzukehren. Die Studierenden können anschließend zwischen verschiedenen Projektmanagementmethoden (z.B. planbasiert versus agil) differenzieren und lernen Ressourcen optimal einzusetzen.

Keywords: Gamification, Projektmanagement, Software Engineering, Spiele, Qualität in der Lehre, Studentenbeteiligung

1 Einleitung

Lehrprojekte spielen eine wichtige Rolle an der FOM, um die Qualität der Lehre zu erhöhen und den Studenten die Möglichkeit zu geben, sich aktiv an der Lehrveranstaltung zu beteiligen [Fr00]. Ausgangspunkt des hier beschriebenen Lehrprojekts ProManGame war die Beobachtung, dass bestimmte Lehrveranstaltungen, wie Projektmanagement (PM), von den Studierenden meist nur sporadisch und in stark wechselnder Anzahl besucht wurden. Und dies trotz der hohen Relevanz der in der Lehrveranstaltung vermittelten Techniken und Fertigkeiten für Wirtschaftsinformatiker [HW00]. Gründe dafür sind u.a.:

- Das nötige Wissen zum Bestehen der Klausur ist relativ leicht durch das Studium der Vorlesungsunterlagen erlernbar und es muss kein praktischer Leistungsnachweis erbracht werden.
- FOM-Studenten sind berufstätig, studieren nebenberuflich, abends oder am Wochenende und müssen mit ihrer Zeit viel besser haushalten als Vollzeitstudenten. Eine Optimierung der Anwesenheit in Lehrveranstaltungen ergibt sich damit für die Studenten von selbst, wobei gerade in dieser Situation die praktische Anwendung von PM-Techniken nützlich sein kann.

Die Realität des PM ist aber, dass die entsprechenden Techniken und Fähigkeiten nicht durch Präsentation von Folien und reinen Wissenserwerb aus Büchern erlernt werden

[1] FOM Hochschule für Oekonomie und Management, Hochschulzentrum Nürnberg, City Park Center, Zeltnerstr. 19, 90443 Nürnberg, Ilse.hartmann@fom.de
[2] FOM Hochschule für Oekonomie und Management, Hochschulzentrum Nürnberg, City Park Center, Zeltnerstr. 19, 90443 Nürnberg, klemens.waldhoer@fom.de

doi:10.18420/in2017_39

kann. Es setzt praktische Projektarbeit in unterschiedlichen Rollen und den Einsatz von PM-Techniken voraus. Daraus ergaben sich folgende Ziele für dieses Lehrprojekt:

- Gamification-Techniken mit Ansätzen aus der analogen und digitalen Spielewelt zu untersuchen und zu einem einheitlichen Konzept zu vereinen sowie
- auf ihre praktische Anwendbarkeit in der Lehre zu erproben.

2 Gamification

Mit Spielen kommt fast jeder schon früh in Kontakt. Bereits im Kleinkindalter lernt der Mensch mit Spielen seine Umgebung kennen und seine Fähigkeiten zu entwickeln. Abstrakt gesehen, stellt ein Spiel eine freiwillig angenommene Herausforderung dar, die durch Regeln, Ziele, Interaktivität und Rückmeldungen definiert ist, ev. durchgeführt mit mehreren Personen. Die Durchführung und Ergebnisse des Spiels sind mit Emotionen wie Freude, Spannung, Enttäuschung verbunden. Ein wichtiger Punkt bei den meisten Spielen, soweit es sich nicht um reine Glücksspiele handelt, ist die Verbesserung der eigenen Fähigkeiten in Bezug auf die Erreichung der Spielziele, womit Spielen auch das Erlernen neuer Fähigkeiten fördert.

ProManGame übernimmt Ansätze aus dem Gamification-Bereich in die Lehre [KH00]. Gamification zeichnet sich durch den Einsatz spieltypischer Elemente in spielfremden Umgebungen aus. Zu den Elementen des Gamification gehören Badges (Abzeichen), Ranglisten, Erfahrungspunkte und ähnliche Anreize. Ein zentraler Kern ist die kontinuierliche Information des Spielers über seine Fortschritte und seinen aktuellen Stand. Zweck ist meist die Motivationssteigerung für Tätigkeiten, die man ungern durchführt, da sie monoton oder auch sehr komplex sind, aber auch: sich mit anderen zu vergleichen. Klassische Gamification-basierte Implementierungen beruhen hauptsächlich auf digitalen Ansätzen, meist realisiert mit der Integration in Web-Oberflächen [Bj00]. Sie ergänzen bestimmte berufliche oder private Tätigkeiten um weitere Anzeigeelemente, wie die schon erwähnten Abzeichen oder Fortschrittsbalken. Abhängig vom Einsatzgebiet werden auch Ranglisten eingesetzt. Dies lässt sich z.B. im Unternehmen für spielerische Wettkämpfe nutzen. Im Fitness-Bereich setzt beinahe schon jede Plattform Gamification ein (vgl. Abb. 1 a). Im Lernbereich sei hier Quiz-Duell (vgl. Abb. 1b) erwähnt. Auch wenn als Ziel nicht unbedingt die Wissensvermittlung im Vordergrund steht, enthält die Quizduell-App einige Gamification typische Elemente wie Ranglisten, Punkte etc.

3 Das hybride Spiel Gipfeleroberer

Das Projekt ProManGame wurde in zwei Phasen durchgeführt. Nach der Sichtung der vorhandenen Literatur wurden verschiedene existierende PM-Spiele untersucht. Basierend darauf wurde eine Klassifizierung verschiedener Spieltypen ermittelt:



(a) (b)

Abb. 1: (a) Typisches Gamification-Beispiel aus dem Fitness-Bereich: Individuelle Leistung, Abzeichen und Vergleiche mit anderen; (b) Quizduell: Gamification im Wissensbereich, auch hier die Vergleichsmöglichkeiten mit anderen Mitspielern durch Ranglisten.

- **Brettspiele**: dies sind die klassischen Spiele, wie Mensch-Ärgere-Dich-Nicht, Monopoly u. ä. Sie zeichnen sich vor allem durch ein begrenztes Zeitbudget und einer intensiven Interaktion aller Beteiligten aus, die durch die räumliche Nähe gegeben ist. Ein wichtiger Punkt ist der soziale Aspekt, man sucht durch die Nähe zu anderen unbeschwerte Stunden miteinander verbringen zu können.

- **Online-Spiele**: diese zeichnen sich (meist) durch eine räumliche und ggf. auch zeitliche Distanz der Spieler und der Spielhandlung aus, falls es sich nicht ohnehin um ein reines Ein-Personenspiel handelt. Zusätzlich ist eine entsprechende technische Infrastruktur (Hardware, Internet, …) notwendig.

- **Hybride Spiele**: Spiele dieses Typs beinhalten sowohl klassische Spielelemente (Brettspiele), wie auch digitale, online oder Smartphone-basierte Aspekte. Sie kombinieren damit die sozialen Aspekte des Brettspiels und die Möglichkeiten, die das Internet und das Web bei der Spielgestaltung bieten.

Darauf aufbauend wurde das **hybride Spiel Gipfeleroberer** entwickelt. Die Grundidee des Spiels ist der Verlauf einer Bergwanderung, da damit analog zu einem „realen“ Projekt verschiedene Aspekte wie Ressourcen, Risiken, Ziele etc. vereint werden können. Das analoge Spielbrett wurde in einem ersten Schritt um ein digitales Wissenskartenabfragewerkzeug als App und als Web-Version ergänzt.

Im Spiel Gipfeleroberer (Abb. 2) werden zwei Wandergruppen des Softwareunternehmens „BestGermanSoftware“ auf eine Wanderung geschickt. Sie müssen den Hohen Alpstein Gipfel erklimmen und wieder am Ausgangspunkt der Wanderung ankommen. Die beiden

Gruppen verwenden dabei unterschiedliche Planungsmethoden (Wasserfall basiert vs. agil). Agil kann laufend während der Wanderung über den Weg neu entscheiden, während die Wasserfall-Gruppe nur am Anfang des Spiels planen und entscheiden darf. Die Herausforderung ist, dass (a) nur bestimmte Ressourcen zur Verfügung stehen, mit denen hauszuhalten ist und (b) Wissensfragen zu beantworten sind, um vorwärtszukommen (sh. Abb. 3). Da eine Bergwanderung nicht ohne Risiken ist, sorgen Ereigniskarten (Risiken) für unvorhergesehene Zwischenfälle. Die Wandergruppen können sich durch den Kauf von bestimmten Ausrüstungsgegenständen gegen gewisse Risiken wappnen. Beide Wandergruppen erhalten zu Beginn der Bergwanderung ein Budget (ProCoins). Mit diesen ProCoins müssen die Ausrüstung und die Wasservorräte für die Wanderung gekauft werden. Auf der Wanderung können auch ProCoins erspielt werden, z.B. durch Erreichen von Stationen. Ausrüstung und Wasservorräte können nicht mehr in ProCoins zurückgetauscht werden.

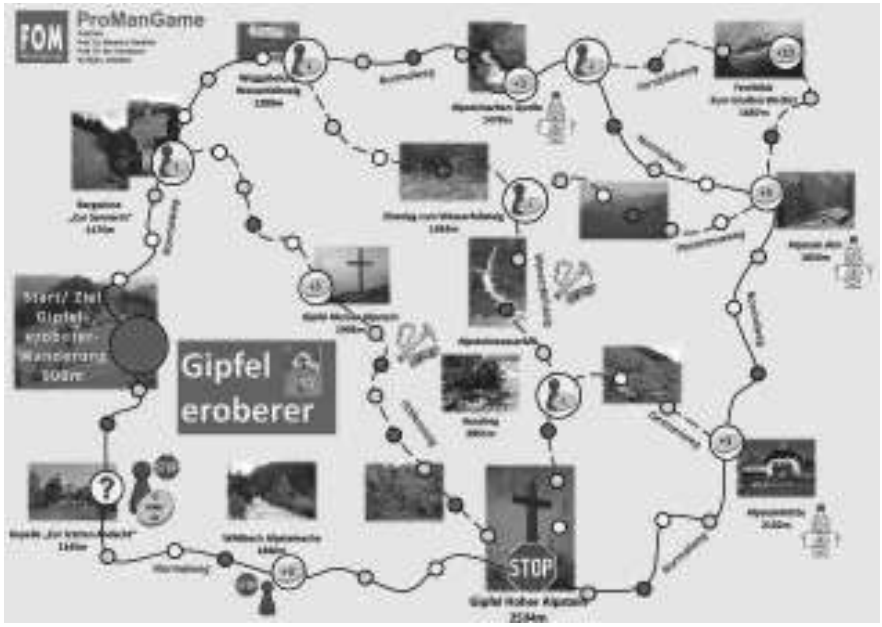


Abb. 2: Spielplan Gipfeleroberer

Sieger ist die Wandergruppe, die den Hoher Alpstein Gipfel erklommen hat und mit den meisten ProCoins im Ziel ankommt. Der Verlierer muss in Zukunft nach dem Vorgehensmodell des Siegers agieren. Damit siegt nicht unbedingt der Schnellere, sondern die Gruppe, die die meisten ProCoins eingesammelt hat. Die Anzahl der eingesammelten ProCoins hängt dabei entscheidend vom gewählten Weg ab.



Abb. 3: ProManGame App

Das Spiel ist einfach umzusetzen, es ist kostengünstig zu produzieren (etwa 50€) und benötigt wenig Platz. Das Spiel ist durch das Erstellen eigener Wissenskarten einfach und schnell an Zielgruppen bzw. individuelle Bedürfnisse anpassbar. Zusätzlich kann die Spieloberfläche an das Lehrveranstaltungsthema angepasst werden.

4 Evaluierung in der Lehre und Weiterentwicklung

Es wurden informelle Gespräche mit den Studierenden während der Durchführung des Spiels geführt. Bereits diese informellen Gespräche zeigten, dass die Studenten von der Idee des Spiels begeistert sind, insbesondere um Stoffinhalte in kurzer Zeit zu wiederholen und zu üben. Insbesondere der soziale und kommunikative Aspekt des Spiels fand großen Anklang, Das gleiche Bild ergab sich bei Gesprächen mit Teilnehmer/Innen der MID Insight Konferenz 2016. Insgesamt zeichnet sich damit ein sehr positives Bild, welches es in Folgestudien zu überprüfen gilt.

Folgende Vorteile ergeben sich für die Studierenden:

- Rasche Wiederholung des Lernstoffes (Lernzielkontrolle). Je nach zur Verfügung stehenden Zeit können falsch beantwortete Fragen wiederholt angeboten werden.
- Möglichkeit eigene Inhalte einzubringen.

- Das Spiel kann über eine Online-Plattform auch zu Hause durchgeführt werden, unabhängig vom Unterricht.
- Die Studierenden erhalten eine unmittelbare Rückmeldung, da die korrekten Antworten angezeigt werden.
- Die Gruppe kann die Antworten gemeinsam suchen und finden.

Ein Nachteil der aktuellen hybriden Implementierung ist, dass Spielstände nicht wirklich gespeichert werden können und damit Inhalte, die über eine Lehrveranstaltung hinausgehen, nicht effizient abgebildet werden können. Derzeit ist eine reine Online-basierte Version in Entwicklung, die eine - über mehrere Lehrveranstaltungen hinweg - spielbare Umgebung implementiert. Diese kann auch mit dem analogen Brettspiel kombiniert werden und das Spiel durch spezielle neue, komplexere Aufgaben erweitert werden. Die Weiterentwicklung soll u.a. folgende Punkte umfassen:

- Freie Konfigurierbarkeit des Spielfeldes
- An jeden Wegpunkt des Spielfeldes können entsprechende Aktionen gebunden werden (z.B. Video abspielen, Aufgabe stellen, ggf. neue Wege situationsbasiert hinzufügen oder Wege entfernen, Hintergrund ändern, z.B. Nachansicht).
- Aufgaben („Challenges“) können einzelpersonenbasiert oder gruppenbasiert gelöst werden
- Avatare für Spieler, ggf. mit bestimmten Eigenschaften versehen, die den Spielablauf beeinflussen („Projektleiter“).

Literaturverzeichnis

[Bj00] Bishop J (Hrsg): Psychological and social implications surrounding internet and gaming addiction. Information Science Reference, Hershey, PA, 2015

[KH00] Kumar J.; Herger M.: Gamification at work; Designing engaging business software. Interaction Design Foundation, Aarhus, 2013.

[Fr00] Fichtner-Rosada S. (Hrsg.): Innovative Lehre an der FOM anhand ausgewählter Praxisbeispiele. MA Akademie Verlags und Druck-Gesellschaft mbH, Essen, 2017

[HW00] Hartmann I.; Waldhör K.: ProManGame: Gamification als innovative Lehrmethode. In: Fichtner-Rosada S (Hrsg.) Innovative Lehre an der FOM anhand ausgewählter Praxisbeispiele. MA Akademie Verlags und Druck Gesellschaft mbH, Essen, 2017

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 451

The Submarine Crew - A Serious Game relating to the German Movie "Das Boot"

Pierre Suchacek[1] Annette Köhler[2] Florian Höschl[3] Michael Felleisen[4]

Abstract: This project is based on the movie "Das Boot"by Bavaria Filmstudios, Munich.
The resulting application is a mobile Serious Game that tells the story about a German submarine crew and their mission during World War II. The purpose of the Game is to convey key aspects of different tasks on a submarine and the interplay of the crew members as seen in the movie.
The player starts in a scenario that takes place in 1941. Five different roles with different responsibilities need to be managed. Each task depends on information of other crew members, simulating a realistic submarine work flow.

Keywords: SeriousGame; DasBoot; BavariaFilmstudio; SubmarineCrew; WorldWarII

1 Introduction

It's the year 1941.
The German Submarines have the order to scupper merchant ships that deliver Great Britain with important goods for war affairs.
The fight is getting harder because these ships are guided by destroyers more and more.
In this situation, the German submarine U96 was instructed to sail. The crew celebrates its last night ashore with a coltish feast in a French brothel in La Rochelle, before it finally sails out from Saint-Nazaire. [Da]

This quotation is taken and translated from the introduction sequence of this game. It introduces the background story of the game to the player. This way, a cinematic sensation should emerge since the game is based on the German movie "Das Boot". The game tells the story of four young boys on their first mission during war as submarine soldiers, led by

[1] Technische Universität München, Department of Informatics, Boltzmannstraße 3, 85748 Garching bei München, Germany pierry.suchacek@tum.de
[2] Technische Universität München, Department of Informatics, Boltzmannstraße 3, 85748 Garching bei München, Germany koehlean@in.tum.de
[3] Technische Universität München, Department of Informatics, Boltzmannstraße 3, 85748 Garching bei München,Germany florian.hoeschl@gmail.com
[4] Technische Universität München, Department of Informatics, Boltzmannstraße 3, 85748 Garching bei München,Germany michael@felleisen.de

doi:10.18420/in2017_40

an experienced and sincere captain.
It is named *The Submarine Crew* and will be called by this name in this entire report for consistency.
However, the story is only a side phenomenon. The main purpose of *The Submarine Crew* is to teach knowledge about the processes and needed skills during a dive with a submarine of World War II.
The Submarine Crew is the result of a request of the *Bavaria Filmstudios*, Munich, who wanted to have a game helping their first high-flying movie "Das Boot"to be more present again. After all, this project rose from this request but later headed into a self-organized and -designed direction.
This report describes the process of the development of this Serious Game. It begins with the origin of the game: the Bavaria Filmstudios and their already mentioned movie, followed by a broader research of related work.
The subsequent chapter describes the work flow of the project, from the beginning to the final concept which is presented bit by bit, as well as the educational benefits of this Serious Game. Overall, the design-related questions are answered here.
Right after that the mechanics of the specific mini-games are shown. This associates the implementation of the aforementioned design decisions.
In the remaining chapters, the outcome of the conducted user study is evaluated and with it this Serious Game as well. With the insights of the users, some ideas for future work were drawn which are presented at the end.

2 Game Design

2.1 Basic Concept

Being a Serious Game, the basic idea of this game is to convey knowledge about a variety of content. On the one hand, the game is based on a movie. Hence, it should introduce the movie characters and follow the story of the movie at least loosely. On the other hand, it should still be a game and thus have playful challenges that teach certain aspects regarding the movie and real submarines. The game would basically be about specific functionalities and every day life as part of a submarine crew.
A solution that covers the characteristics above is to design different roles. Each role represents a character from the movie and realizes his tasks on the submarine as mini-games. These tasks were selected not only for entertainment reasons, but also educational means. They had to be essential in running a submarine but be fun to play as well. Since this game is based on a movie, it should cover the story of this movie at least partly. This was realized as simulation of a dive with given occurrences related closely to the movie.
The player is navigating a similar route than the movie characters. The events that occur are altered only slightly from events in the movie. Considering the length and depth of 'Das Boot' it is no surprise that the game ended up covering only a small scope of the movie's

spirit. *The Submarine Crew* however is not mainly a cinematic game but a game that is supposed to teach occupational techniques.

2.2 Learning Aspect

Because *The Submarine Crew* wants to teach the player about the work flow on a submarine, a separated learning part is required. The learning aspect covers the whole game since every role involves tasks among the crew, that need to be taught to the player before he can start the campaign. Here, the player receives all information he needs in text form with supporting pictures.
It is divided into four topics: description of the role, task description, object of this task and movie context. These are partly very general descriptions of the duties on a submarine or used objects during the work, but also specific descriptions about the movie characters and what the player actually has to do in the game. After the player feels well prepared, he will start the campaign and apply his knowledge about the roles he has learned about.

2.3 Different Roles

The individual roles are chosen and designed in order to maximize the learning effort. What decisions are made to guarantee this is explained in the following.

2.3.1 The Captain

The Captain takes control of the submarine's crew. He supervises the activities inside and the events outside of the submarine. This means that all important information goes right through him. Having an overview of all crew members and events, he is the responsible person to decide which action has to be executed next.
Being such an important role on the submarine, the character in the movie is one of the main characters, maybe even the most present one. Thus, the question how to integrate his role in our game is very important and quite difficult. First, we wanted to have a leading player. This player was supposed to guide the group through the simulation. He would have had to gather information and order actions that would be done by the other players. This way, he would have been the pivotal point of the game.
In addition, he can recalibrate the submarine's current position based on the star constellation using a sextant. The sextant was an important tool in former times to calculate the position at open water.
His functionality as a central person who receives all information from the other crew members is realized with a log book. In this screen the player gets a summarization of events and advice for consequent actions.

2.3.2 The Radioman

The radioman is an expert on the morse alphabet. He is able to send and receive morse messages at very high speeds. Fast morse listeners could reach speeds up to 2500 shorts per minute or 250 words per minute. At that speed a short signal lasts for 20ms. In the game a short is slowed down to a length of 300ms (15 times slower) to make the game accessible for a morse beginner audience.

2.3.3 The Decrypter

The Decrypter knows how to operate an Enigma which is a decrypting and encrypting device used by the Germans during World War Two.
The Enigma itself was one of the safest de-/ and encrypting machines at the time. The system behind the Enigma was so complex that even the best mathematicians tried to solve the algorithm. They found an approach only through a repeating mistake that later led to the solution.[Enb] The Enigma was handed over with a so called 'key table' which contained combinations of three letters or numbers.[Ena] These 'key tables' were totally secret. The combinations of letters or numbers were generated once for every day in a special period. Each letter/number represents the position of the related Enigma rotor at the top ("Walzensatz"). The Enigma owner needs to look in the 'key table' for the related date and turn the rotors so that the combination matches the date. After the setup the user is able to de- or encrypt the message by pressing the letter on the keyboard ("Tastatur") and the associated decrypted or encrypted letter will be highlighted at the display right above the keyboard ("Lampenfeld").
The Decrypter needs to be cautious not to accidentally press a letter on the keyboard, as the rotor will automatically increase by one, making the rest of the decryption/encryption false.If the user pushed a wrong key he has to reset the Enigma and start the encryption from the start.



Fig. 1: Enigma[Di].

2.3.4 The Cartographer

The cartographer is the member of the crew that plans the course of the submarine. With decrypted information about hostile ship and plane positions he tries to plan and maneuver the submarine through a safe route. The longer he takes the worse the submarine condition might get. That's why he tries to calculate the safest but fastest way. He provides the classical game view.

2.3.5 The Machinist

The Machinist is responsible for the most important thing in an submarine, the engine. Without a functioning engine a submarine is not able to emerge from the devouring depths of the sea. If the engine in a submarine fails and the submarine is far beneath sea level as shown in the movie the crew is trapped without escape.
In the game the player takes over the role of the machinist and tries to keep the engine repaired as much as possible. If the engine is damaged the speed of the submarine drops significantly.

2.4 Interplay of the Roles

The Cartographer and the captain's logbook are tying the whole game together. The map as the only physical representation of what is actually happening in the game world and the logbook as a helping hand to guide the player if he gets lost and does not know what to do next.
Through the logbook the captain is able to reconquer his central role. Every single other game mode is using the logbook to recap the games actions. On the other hand every mini game influences the game play in the Cartographer game. The Captain is able to confirm the correct position of the ship, the Machinist is responsible for the ship speed and the Radioman and the Decrypter are used to progress story wise. That means they activate certain checkpoints directly in the Cartographer's map.
Like this the separate roles are working in unison as it is expected of a submarine crew.

3 User Study

More than half of the testers already saw the movie 'Das Boot'. Every information about the different mini games and the according movie backgrounds were given in the learning mode.
The graph in Figure 2 shows how much of the given information they remembered after playing the game.

Most of the testers read at least the mini game instructions. The others started to fail at more difficult and less intuitive mini games like the enigma and heavily depended on special introductions.
They realized that they would have been able to solve the puzzles on their own if they would have read the learning texts at all or more carefully. Some of the testers had general interests in or even wrote scientific papers about some of the covered topics like the morse mini game or the enigma mini game and already knew very well how to use them.
After the information part the main campaign started. The most popular game modes were the Enigma, the morse and the captain mini games. The logbook often was mentioned as

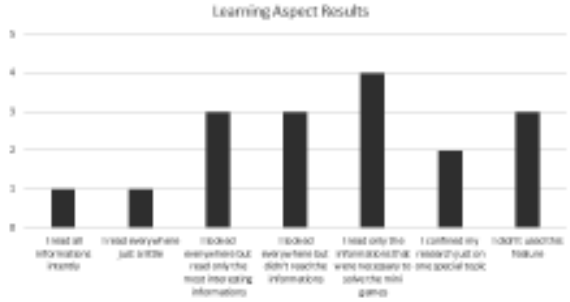


Fig. 2: Distribution of how intense the testers studied the information texts.

especially helpful.
Some players expected more of an cinematic kind of game approach were teaching submarine history would have been the most important aspect. Others expected the game to be more like the popular board game 'Battleship'.
The results of the user study strongly implies that testers with musical backgrounds had an easier time to write down the correct signals of the morse mini game. Tone-deaf testers had to listen to the morse message multiple times to get it right.

References

[Da] Das Boot (Film), https://de.wikipedia.org/wiki/Das_Boot_(Film) (last visit: 2017-06-30).

[Di] Die Verschlüsselungsmaschine Enigma, http://www.justchaos.de/blog/index.php?/plugin/tag/enigma (last visit: 2017-06-30).

[Ena] Enigma Handbuch, http://www.ilord.com/enigma-manual1940-german.pdf (last visit: 04-03-2017).

[Enb] Enigma, https://de.wikipedia.org/wiki/Enigma_(Maschine) (last visit: 2017-06-30).

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 457

makeIT(true); - //Rette die Heimat von Beta17!

Lars Kollmann[1], Rene Knap[2], Fabian Rüb[3], Evgenij Renke[4], Cindy Mund[5], Matthias Ulfig[6], Alexandra Grund[7], Alexander Reuter[8] und Martin R. Wolf[9]

Abstract: makeIT(true); ist ein Lernspiel, welches sich der Technologie der virtuellen Realität bedient, um dem Spieler grundlegendes Wissen im Bereich der technischen Informatik und der Logik zu vermitteln. Dazu löst der Spieler verschiedene Rätsel, die ihm den Umgang mit logischen Gattern sowie die boolesche Algebra näherbringen. Im Vordergrund der Entwicklung steht die Erforschung des Lernverhaltens in der virtuellen Realität.

Keywords: Virtual Reality, Lernspiel, Gamification, Competence Developing Games

1 Einleitung

Das Lernen in der Hochschule kann oft nur wenige Lerntypen (auditive, visuelle, kommunikative oder motorische Lerntypen) gleichzeitig ansprechen und ist in der Regel durch Frontalunterricht geprägt. Zwar bieten viele Hochschulen neben Vorlesungen auch Übungen und Praktika an, diese sind jedoch in der Regel ebenfalls eher theoretisch und werden oft nur mäßig von den Studierenden angenommen.

Das Lernspiel wird von acht Studierenden zweier Fachrichtungen der Fachhochschule Aachen für den Studiengang Wirtschaftsinformatik entwickelt, welcher die Schnittstelle zwischen Informatik und BWL bildet. Speziell im Bereich der technischen Informatik, insbesondere Logik und Boolesche Algebra, ist der erste Einstieg aufgrund der

[1] FH Aachen, Elektrotechnik und Informationstechnik, Eupener Straße 70, 52066 Aachen, lars.kollmann@alumni.fh-aachen.de
[2] FH Aachen, Elektrotechnik und Informationstechnik, Eupener Straße 70, 52066 Aachen, rene.knap@alumni.fh-aachen.de
[3] FH Aachen, Elektrotechnik und Informationstechnik, Eupener Straße 70, 52066 Aachen, fabian.rueb@alumni.fh-aachen.de
[4] FH Aachen, Elektrotechnik und Informationstechnik, Eupener Straße 70, 52066 Aachen, evgenij.renke@alumni.fh-aachen.de
[5] FH Aachen, Elektrotechnik und Informationstechnik, Eupener Straße 70, 52066 Aachen, cindy.mund@alumni.fh-aachen.de
[6] FH Aachen, Elektrotechnik und Informationstechnik, Eupener Straße 70, 52066 Aachen, matthias.ulfig@alumni.fh-aachen.de
[7] FH Aachen, Elektrotechnik und Informationstechnik, Eupener Straße 70, 52066 Aachen, alexandra.grund@alumni.fh-aachen.de
[8] FH Aachen, Elektrotechnik und Informationstechnik, Eupener Straße 70, 52066 Aachen, alexander.reuter@alumni.fh-aachen.de
[9] FH Aachen, Elektrotechnik und Informationstechnik, Eupener Straße 70, 52066 Aachen, m.wolf@fh-aachen.de

doi:10.18420/in2017_41

Abstraktion oft mit Hürden verbunden. Um kompliziertere Systeme und Schaltungen entwickeln zu können, muss erst ein Grundverständnis geschaffen werden.
Daher beschäftigen wir uns in diesem interdisziplinären Projekt genau mit dem oben genannten Problem, theoretisches Grundlagenwissen im Bereich der technischen Informatik und Logik mit moderner Virtual Reality Technologie spielerisch zu vermitteln. Aufgrund des enormen Wachstums der Spiele- insbesondere der Virtual Reality Industrie in den letzten Jahrzehnten, ergeben sich neue Möglichkeiten, um mehrdimensionales Lernen[10] effektiver umzusetzen und so ein intensiveres und nachhaltigeres Lernen zu ermöglichen.

Lernen durch Spielen ist die elementarste, kreativste und natürlichste Form des Lernens, denn schon von Geburt an entdecken die Menschen die Welt spielerisch. Nach dem Erklärungsmodell "Homo ludens" sind dem Menschen beim Spielen zwei wichtige Voraussetzungen gegeben, um Erfahrungen aufzunehmen und zu reflektieren. Nämlich Handlungsfreiheit und das Einsetzen des eigenen Denkens[11]. Ziel des Prototyps ist somit, das Lernverhalten und die Lernerfolge der Studierenden im Vergleich zum klassischen Lernen in der Hochschule zu verbessern.

Das Projekt wird in der Unity3D Game Engine für das Virtual-Reality-System HTC Vive entwickelt.

2 Zielsetzung

Das Ziel dieses interdisziplinären Projektes ist die Konzeption, Entwicklung, Implementierung und Evaluation eines Competence Development Games mit dem Virtual-Reality-System HTC Vive für die Vermittlung von Grundlagenwissen der technischen Informatik an Studierende.

Das Spiel soll die Voraussetzungen, dem Spieler Handlungsfreiheit geben, als auch aus eigener Motivation Rätsel lösen zu können, erfüllen und damit einen Lernprozess ermöglichen.

[10] vgl. http://www.linkfang.de/wiki/Mehrdimensionales_Lernen
[11] vgl. https://de.wikipedia.org/wiki/Homo_ludens,
https://www.ludologie.de/multiplayer/detailansicht/news/detail/News/johan-huizinga-1872-1945-homo-ludens-spiel-als-ursprungsort-von-kultur/

3 Beschreibung des Prototyps

3.1 Handlung

Das Spiel handelt vom Wiederaufbau einer zerstörten Roboterfabrik Der Spieler erhält außerdem die Zielsetzung, die Hintergründe der Zerstörung zu ergründen. Zu Beginn des Spiels wird der Spieler von einem hinterbliebenen Roboter (“Beta17”) geweckt. Es fehlen jegliche Informationen hinsichtlich seiner Identität, seines Aufenthaltsortes und der vergangenen Geschehnisse.

Beta17 trägt Mitschuld an der Zerstörung der Fabrik, was im Laufe des Spielgeschehens immer wieder angedeutet wird. Der Roboter führt den erwachten Spieler durch die Szenerie und dient als “Enzyklopädie”. Er hilft dem Spieler zu Beginn, mit ersten einfachen Rätseln, die Spielmechaniken näher zu bringen.

Neben den Bauelementen, die der Roboter erklären kann, besitzt er die Fähigkeit, Auskunft über sämtliche Gegenstände der Spielwelt zu geben. Dieses Feature muss vom Spieler aber erst einmal herausgefunden werden.

3.2 Spielelemente

Für das Spiel wurden sämtliche Grundgatter wie zum Beispiel NOT, AND, OR, XOR, NAND und NOR implementiert. Aus diesen Gattern kann der Spieler beliebige Schaltungen bauen. Zudem stehen dem Spieler Schalter zur Interaktion zur Verfügung. Mit Hilfe von Glühbirnen können die Ausgänge der Schaltungen visualisiert werden.

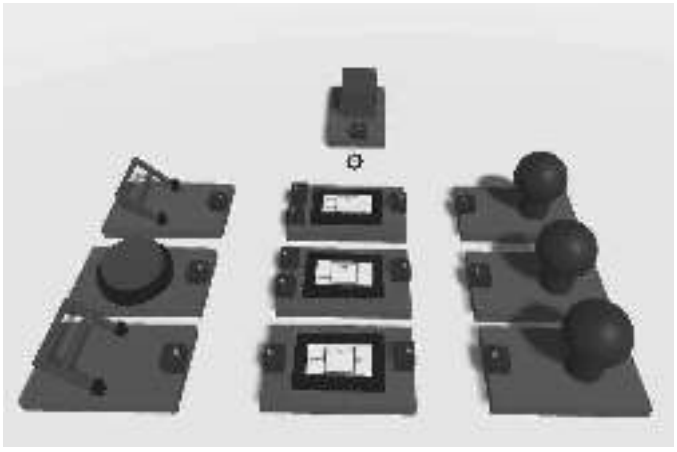


Abb. 1: verschiedene Gatter

Neben diesen statischen Elementen ist für das Spielgeschehen die Interaktion mit dem Roboter von zentraler Bedeutung. Er dient der Orientierung des Spielers und treibt das Spielgeschehen voran. Er soll neben aufgeweckten Dialogen auch Emotionen ausdrücken können, die durch ein Display angezeigt werden. Um das Verständnis der Aufgaben zusätzlich zu sichern, steht mit ihm ein Menü mit ausführlicher Beschreibung zur Verfügung.

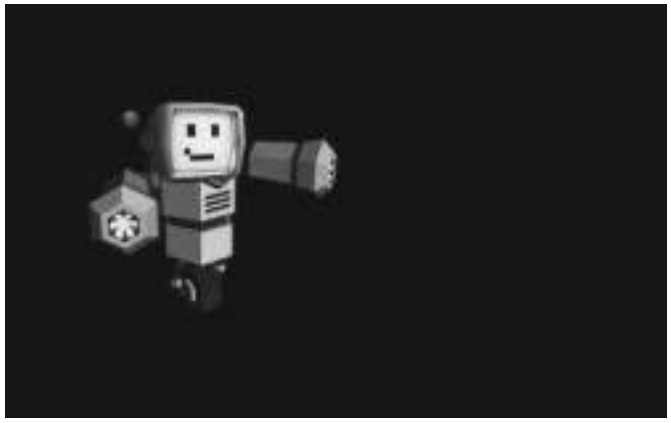


Abb. 2: Konzept des Roboters Beta 17

3.3 Bewegung und Interaktion

Der Spieler hat die Möglichkeit sich über die Steuerung des Virtual-Reality-Systems HTC Vive durch die virtuelle Welt zu bewegen und zu interagieren.
Die zu verwendenden Logik-Module befinden sich entweder bereits im Inventar oder werden im Raum eingesammelt und in selbiges gelegt. Zum Bauen einer Schaltung, können die Module aus dem Inventar dann mit den Controllern an eine Wand ("Construction Wall") gesetzt werden. Anschließend hat der Spieler die Möglichkeit die Logik-Module mit den Controllern entsprechend zu verkabeln. Die gebaute Schaltung kann außerdem korrigiert werden.

3.4 Multiplayer

Der Multiplayer-Modus wird im späteren Entwicklungsverlauf als zusätzliches Feature implementiert. Der zweite Spieler wacht in einem separaten Raum auf und wird ebenfalls mithilfe des Roboters durch das Spiel geleitet. Der Roboter hilft also beiden Spielern. Durch die kooperativen Aufgaben (gleichzeitiges Arbeiten an denselben Aufgaben) soll

der Lerneffekt weiter gefördert und zusätzlich die Team- und Kooperationsfähigkeit der Studierenden geschult werden.

3.5 Beispiel-Rätsel

Alle Rätsel des Spiels werden mit einer Schwierigkeit von null bis fünf klassifiziert. Zum Beispiel würde ein sehr einfaches Tutorial-Rätsel die Klassifizierung 0 erhalten. Im Falle dieses Rätsels, muss der Spieler eine zunächst ausgeschaltete Lampe zum Leuchten bringen. Die beiden Stromquellen wurden bereits vordefiniert. Um das Rätsel zu lösen, muss der Spieler die Stromquellen mit dem AND-Gatter verbinden, welches er zuvor aus seinem Inventar auf der Construction Wall platziert hat. Danach muss der Ausgang des Gatters mit dem Eingang der Lampe verbunden werden. Durch das Aufleuchten der Lampe erhält der Spieler die Rückmeldung, dass das Rätsel erfolgreich gelöst wurde.

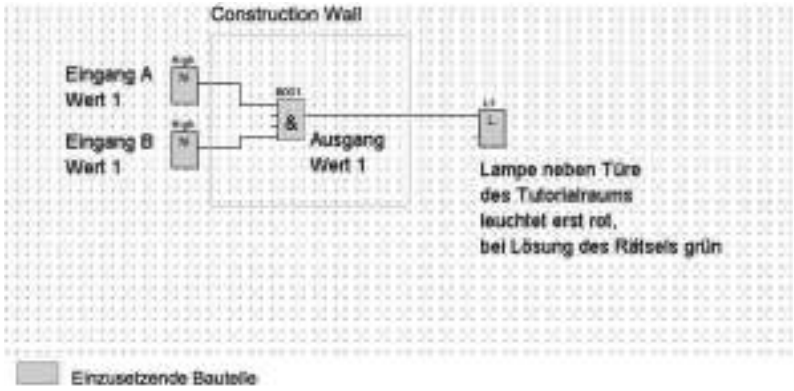


Abb. 3: Konzept des Tutorial-Rätsels

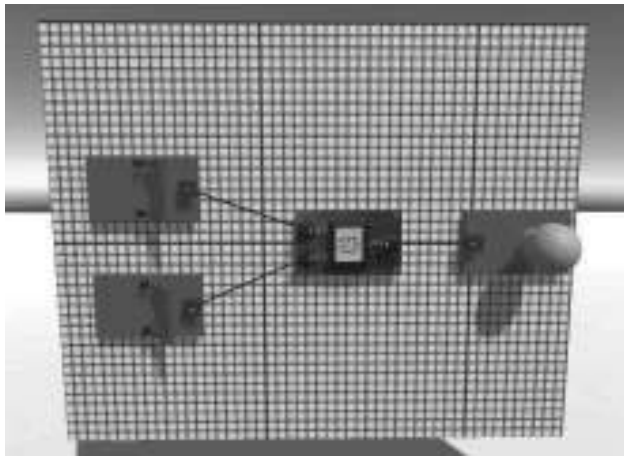


Abb. 4: Tutorial-Rätsel im Spiel

Mit zunehmendem Fortschritt im Spiel werden auch die Rätsel komplexer. Das nächste Rätsel des Tutorials ist mit der Schwierigkeit 1 klassifiziert und erfordert eine Kombination der zuvor erlernten Fähigkeiten des Spielers (vgl. Abb. 5).

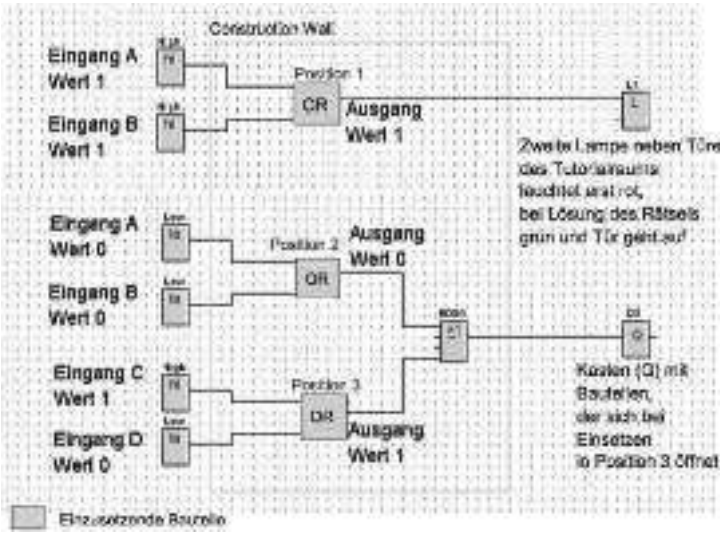


Abb. 5: Kombination von Gattern

4 Technische Details

Nach der Evaluation verschiedener Virtual-Reality-Systeme haben wir uns für die HTC Vive entschieden. Die HTC Vive bringt neben der hohen Auflösung von 2160 x 1200 Pixeln auch einen Blickwinkel von 110 Grad mit - Anforderungen, welche nicht alle Virtual-Reality-Systeme erfüllen konnten. Außerdem bietet die HTC Vive durch ihre Kamera Tracking Technologie die größte Bewegungsfreiheit, was uns sehr wichtig ist, um dem Spieler den bestmöglichen Lerneffekt durch freies Bewegen im Raum zu ermöglichen.

5 Fazit und Ausblick

Da sich das Lernspiel noch in der Entwicklungsphase befindet, kann bislang nur auf die eigene Erfahrung mit dem Spiel zurückgegriffen werden.

Erste Tests mit Studierenden der FH Aachen werden Erkenntnisse bezüglich der Nutzerführung und Steuerung ergeben.

Künftige Evaluationen mit der Zielgruppe sollen Erkenntnisse für die Wirkung und damit für die Weiterentwicklung des Spiels liefern.

Literaturverzeichnis

[WI00] Wikipedia, www.wikipedia.de, Stand: 26.06.2017.

[IL01] Institut für Ludologie, www.ludologie.de, Stand 26.06.2017.

[LF02] LinkFang, www.linkfang.de, Stand: 26.06.2017.

HDP – Hardware Defined Programming

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 467

First Workshop on Hardware Defined Programming – HDP

Adaptive Computing with Reconfigurable Hardware

Oliver Knodel,[1] Steffen Köhler,[1] Marko Rößler[2] and Rainer G. Spallek[1]

The first workshop on Workshop Hardware Defined Programming (HDP) offers a platform for presenting innovative research topics in the field of reconfigurable computing. Young researches are engaged to present novel approaches and methods addressing the related computer engineering challenges of hardware adaption. The workshop will not only focus on academic research, but also intends to be a forum for tool providers, hardware designers, and application developers.

1 Topics

Our workshop focuses on a wide range of topics in the field of the design of (heterogeneous) hardware architectures, applications and innovations in the area of the necessary design tools. The significant topic cloud computing also provides an outlook on future application areas for reconfigurable hardware. The topics of the workshop are:

- Embedded hardware/software systems and hardware/software codesign
- Supplemental design infrastructures (e.g. Network-on-Chip)
- Design and analysis of energy efficient, heterogeneous architectures
- Hardware accelerators based on reconfigurable hardware such as FPGAs
- Reconfigurable System-on-Chip (RSoC)
- Test, diagnosis, simulation and trace analysis of hardware systems
- High-level synthesis tools, frameworks and specification languages
- Security-critical and cryptographic applications on FPGAs
- Design and analysis of multi-core architectures
- Big data processing with FPGAs and data center integration aspects
- Reconfigurable hardware architectures in cloud environments

[1] Technische Universität Dresden, Fakultät Informatik, 01069 Dresden, Germany
{firstname.lastname}@tu-dresden.de
[2] Technische Universität Chemnitz, Fakultät für Informations- und Elektrotechnik, 09126 Chemnitz, Germany
marko.roessler@etit.tu-chemnitz.de

doi:10.18420/in2017_42

2 Contributions

The objective of the workshop is thereby a selection of current research and development in these areas and shall provide a platform for discussing innovative developments and ideas in the field of hardware design. The first HDP workshop includes six contributions, all accepted as full paper with presentation:

I. Applications I – Reconfigurable computing

- FPGA-basierter Protein- und DNA-Sequenzvergleich zur optimierten Datenbanksuche mit dem BLAST-Algorithmus
  Thomas Fabian Starke, Timm Bostelmann and Sergei Sawitzki
- A Hardware Accelerator Framework Approach for Dynamic Partial Reconfigurable Overlays on Xilinx PYNQ
  Benedikt Janßen, Tim Wingender and Michael Hübner

II. Applications II – Hardware/software-codesign

- Modellierung anwendungsspezifischer Hardware und deren Einbettung in die DBT-basierte Prozessor-Verhaltenssimulation
  Steffen Köhler and Rainer G. Spallek
- Hardwaregestützte Positionsschätzung mit Bayes'schen Filtern auf Basis 3-dimensionaler Umgebungsmodelle für den Innenbereich
  Christian Schott, Daniel Froß, Marko Rößler and Ulrich Heinkel
- DC/DC Converter Development by Means of Electrical/Thermal Co-Simulation – from Concept to Control Algorithm and Test
  Radovan Vuletić, Sandra Zeljković, Pawan Garg and Denais Alann

III. Security-critical and cryptographic hardware designs

- A New Level of Trusted Cloud Computing - Virtualized Reconfigurable Resources in a Security-First Architecture
  Paul R. Genßler, Oliver Knodel and Rainer G. Spallek
- Separated Random Number Generators for Virtual Machines
  Clemens Fritzsch, Jörn Hoffmann and Martin Bogdan

3 Summary and Outlook

We thank the organization and the program committee for their collaboration of organizing a successful workshop. We hope to come back next year as well having the 2nd workshop on hardware defined programming (HDP) in 2018.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 469

FPGA-basierter Protein- und DNA-Sequenzvergleich zur optimierten Datenbanksuche mit dem BLAST-Algorithmus

Thomas Fabian Starke[1], Timm Bostelmann[2], Sergei Sawitzki[3]

Abstract: Im Bereich der Bioinformatik und insbesondere der Genforschung ist die Suche nach lokalen Übereinstimmungen in Gensequenzen (engl. local alignment) von wichtiger Bedeutung. Die Anzahl und Größe der in den Gendatenbanken hinterlegten Sequenzen wächst jedoch rasant an, sodass die Suchgeschwindigkeit von kritischer Bedeutung ist. Für die Suche lokaler Übereinstimmungen zwischen einer Such- und einer Datenbanksequenz wird üblicherweise der BLAST Algorithmus (Basic Local Alignment Search Tool) eingesetzt. In dieser Arbeit wird eine Implementierung des BLAST Algorithmus in einer baumartigen Hardwarestruktur auf einem FPGA vorgestellt. Die Vor- und Nachteile dieser Implementierung gegenüber einer konventionellen Umsetzung des Algorithmus in Software werden gezeigt und analysiert. Abschließend wird ein Ausblick darauf gegeben, wie die bestehenden Einschränkungen der vorgestellten Lösung aufgehoben werden können.

Keywords: FPGA; BLAST; DNA; Sequenzvergleich

1 Einleitung

Im Bereich der Bioinformatik und der allgemeinen Genforschung ist die Suche von lokalen Übereinstimmungen von Sequenzen (engl. local alignment) eine wichtige Aufgabe. Bei den Sequenzen kann es sich um DNA, RNA oder Proteine bzw. Aminosäuren handeln. Bei der Suche wird eine *query*-Sequenz gegen eine Menge von Sequenzen innerhalb einer Gendatenbank geprüft und die lokalen Übereinstimmungen ermittelt. Dies kommt beispielsweise zum Einsatz, wenn die Funktionsweise eines unbekannten Virus erforscht und nach vergleichbaren, bekannten Strukturen innerhalb der Datenbanken gesucht wird. Die Anzahl und Größe der in den Datenbanken hinterlegten Sequenzen ist in den letzten Jahren stetig gestiegen (siehe Abb. 1). Aufgrund der sinkenden Kosten für die Sequenzierung, wird prognostiziert, dass sich dieser Trend fortsetzt.

Die für die Suche nach Übereinstimmungen von Sequenzen eingesetzten Algorithmen lassen sich in zwei Bereiche aufteilen: Globale Übereinstimmung (*engl. global alignment*) und lokale Übereinstimmung (*engl. local alignment*). Die Berechnung der globalen Übereinstimmung ist eine Form der globalen Optimierung. Sie erfordert eine gleiche Länge

[1] FH Wedel (University of Applied Sciences), Feldstraße 143, 22880 Wedel, Deutschland starke.thomas@yahoo.de
[2] FH Wedel (University of Applied Sciences), Feldstraße 143, 22880 Wedel, Deutschland bos@fh-wedel.de
[3] FH Wedel (University of Applied Sciences), Feldstraße 143, 22880 Wedel, Deutschland saw@fh-wedel.de

doi:10.18420/in2017_43

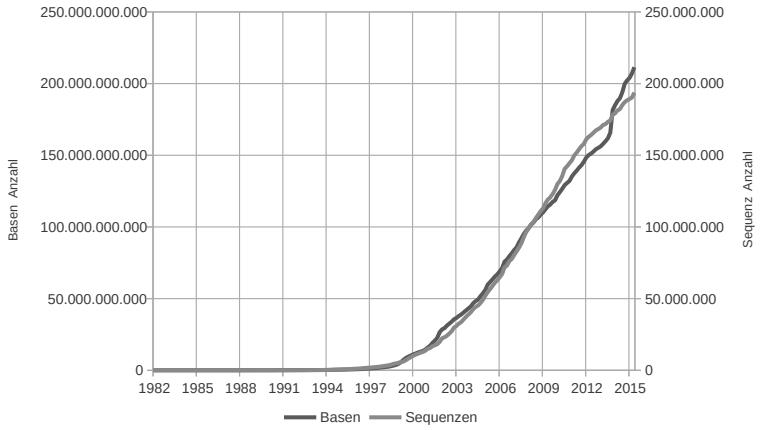


Abb. 1: Entwicklung der gespeicherten Gen-Sequenzen in der Genbank des NCBI [NC]

der Such- und Datenbanksequenzen. Lokale Übereinstimmungen identifizieren identische Bereiche in Sequenzen unterschiedlicher Länge, welche weitestgehend unterschiedlich sind. Lokale Übereinstimmungen werden in der Forschung bevorzugt, jedoch stellt das Finden dieser aufgrund der Laufzeitkomplexität des Problems eine besondere algorithmische Herausforderung dar. Ein etablierter Ansatz für die Suche lokaler Übereinstimmungen zwischen einer Such- und einer Datenbanksequenz ist der von Altschul u. a. vorgestellte BLAST Algorithmus [Al90].

Es wurde bereits gezeigt, dass die Suche nach lokalen Übereinstimmungen in Gensequenzen unter Einsatz mehrerer Hochleistungs-FPGAs erheblich beschleunigt werden kann [Go91]. Auch entsprechende industrielle Produkte sind bereits verfügbar [Ti]. In dieser Arbeit wird hingegen eine Implementierung auf einer kostengünstigen FPGA-Ausbildungsplatine vorgestellt und analysiert. Hierfür werden in Kapitel 2 die nötigen Grundlagen für den BLAST Algorithmus beschrieben. Darauf aufbauend wird in Kapitel 3 eine Implementierung des BLAST Algorithmus in einer baumartigen Hardwarestruktur auf einem FPGA vorgestellt. In Kapitel 4 werden die Vor- und Nachteile dieser Implementierung gegenüber einer konventionellen Umsetzung des Algorithmus in Software gezeigt und analysiert. Abschließend wird in Kapitel 5 ein Ausblick auf sinnvolle Erweiterungen gegeben.

2 Grundlagen

Der BLAST Algorithmus wird zur Suche lokaler Übereinstimmungen bzw. Ähnlichkeiten einer DNA- oder Proteinsequenz innerhalb einer Datenbank eingesetzt. Die Ausgabe des Programms ist eine Liste von Positionen bzw. Bereichen der Suchsequenz und der zugehörigen Datenbanksequenz, welche eine Ähnlichkeit aufweisen. Diese Paare werden



Abb. 2: In der ersten Stufe ermittelten Hits in der Hit-Matrix

High Score Pair (HSP) genannt. Zusätzlich gibt der Algorithmus die Signifikanz eines Treffers (*engl. hit*) an.

Der BLAST Algorithmus kann in fünf Stufen unterteilt werden, wobei die ersten vier Stufen für jeden Eintrag der Gendatenbank durchgeführt werden müssen.

Stufe 1: Erstellung der Hit Matrix Für die Suche einer Suchsequenz w innerhalb einer Datenbanksequenz u mit einer Bewertungsfunktion $\sigma(\alpha \rightarrow \beta)$ werden zunächst beide Sequenzen in überlappende Wörter der Länge $q \in \mathbb{N}$, wie im folgenden Beispiel mit $q = 3$, zerlegt:

$$\text{AVKTCSGAC} \Longrightarrow \{\text{AVK, VKT, KTC, TCS, CSG, SGA, GAC}\} \tag{1}$$

Die so entstandenen Wortmengen werden *w-Mere* und die einzelnen Wörter *q-word* genannt. Die Bewertungsfunktion σ dient der Bestimmung einer Übereinstimmung zwischen einem Zeichen der Suchsequenz und einem Zeichen der Datenbanksequenz. Je nach Art und Ausprägung der Sequenzen werden für die Bewertungsfunktion die *Block Substitution Matrix* (BLOSUM-Matrix) oder die *Point Accepted Mutation Matrix* (PAM-Matrix) verwendet. Hierbei gilt für sogenannte *deletions* bzw. *insertions*:

$$\sigma(\text{„-“} \rightarrow \beta) = \sigma(\alpha \rightarrow \text{„-“}) = -\infty \tag{2}$$

Eine Übereinstimmung, genannt Hit, für das Paar (i, j), wobei i und j die Indizes in der Datenbank- bzw. Suchsequenz sind, liegt dann vor, wenn für einen gegebenen Schwellwert k folgendes gilt:

$$i \in \{0 \ldots |u| - q + 1\} \tag{3}$$

$$j \in \{0 \ldots |w| - q + 1\} \tag{4}$$

$$score_\sigma(\underbrace{u[i \ldots i+q-1]}_{\text{q-word in u}}, \underbrace{w[j \ldots j+q-1]}_{\text{q-word in w}}) \geq k \tag{5}$$

Alle *q-words* der Suchsequenz werden mit allen *q-words* der Datenbanksequenz mit der Bewertungsfunktion σ auf Übereinstimmung untersucht. Die so gewonnen Ergebnisse

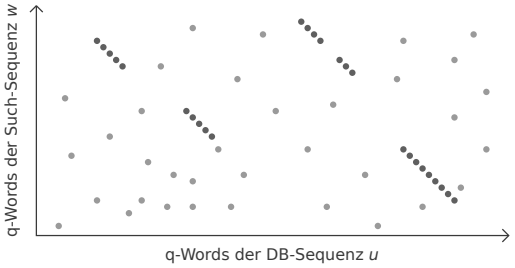


Abb. 3: Extraktion relevanter Hits aus der Hit-Matrix

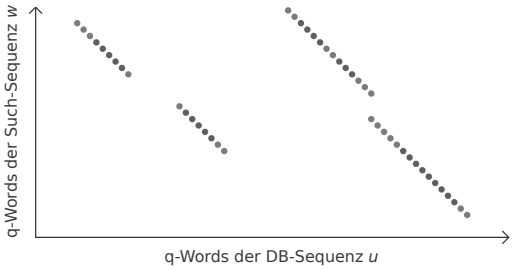


Abb. 4: Hit-Matrix nach der lückenlosen Erweiterung

werden in die sogenannte Hit-Matrix eingetragen (siehe Abb. 2). In alten Versionen des BLAST Algorithmus, welche bis ca. 1998 verwendet wurden, wurde für jeden detektierten Hit sofort die lückenlose bzw. die lückenbehaftete Erweiterung durchgeführt. Ab BLAST 2.0 wurde ein Zwischenschritt zur Optimierung eingeführt, welcher im Folgenden erläutert wird.

Stufe 2: Extraktion relevanter Hits Zur Optimierung der Stufen 3 und 4 werden zunächst alle relevanten Hits innerhalb der Hit-Matrix identifiziert. Hierfür werden alle sich auf der gleichen Diagonale befindlichen direkt aufeinander folgenden Hits zusammengefasst (siehe Abb. 3). Zur weiteren Einschränkung der relevanten Hits kann zusätzlich eine minimale Hit-Länge d definiert werden. Alle in Abb. 3 grau gekennzeichneten Hits werden somit aussortiert.

Stufe 3: Lückenlose Erweiterung Existieren zwei Hits auf einer Diagonale mit einem maximalen Abstand von δ, so wird ein Punkt (i, j) auf der Diagonale zwischen beiden Hits gewählt und anschließend in beiden Richtungen erweitert. Die Empfindlichkeit der Erweiterung wird über einen „*drop-off*“ Parameter $X_d \geq 0$ definiert. Für die Erweiterung eines Hits nach links werden die Sequenzen $u[1 \ldots i-1]$ und $w[1 \ldots j-1]$ von rechts



Abb. 5: In der Hit-Matrix gefundene lückenbehaftete Übereinstimmungen

nach links verglichen. Für die Erweiterung eins Hits nach rechts werden die Sequenzen $u[i \ldots |u|]$ und $w[j \ldots |w|]$ von links nach rechts verglichen. Jeder Vergleich bzw. jede Bewertung eines Zeichenpaars der Sequenzen liefert einen Wert, welcher durchgehend aufsummiert und dessen Maximalwert X_{max} gespeichert wird. Fällt der aufsummierte Bewertungswert unter $X_{max} - X_d$, so wird die Erweiterung beendet. Die so ermittelten ähnlichen Sequenzabschnitte werden *maximum segment pair* (MSP) genannt (siehe Abb. 4).

Stufe 4: Lückenbehaftete Erweiterung In der vierten Stufe wird eine lückenbehaftete Erweiterung der in Stufe zwei gefundenen Hits durchgeführt, um Regionen größerer Übereinstimmung mit akzeptablen Lücken zwischen beiden Sequenzen zu ermitteln. Dies kann sinnvoll sein, um sogenannte *insertions* bzw. *deletions* innerhalb der Sequenzen zu überspringen. Hierbei handelt es sich um Genmutationen bzw. virale Veränderung der Gene, wobei Teilstücke der Gensequenz verändert, entfernt oder aber neue Teilstücke hinzugefügt werden. Dies entspricht einem Sprung auf eine andere Diagonale innerhalb der Hit-Matrix (siehe Abb. 5). Nachdem ein Bereich mit vielen Hits innerhalb der Hit-Matrix identifiziert wurde, wird ein Punkt (i, j) zwischen zwei Hits als Startpunkt gewählt. Anschließend wird von diesem Punkt in Richtungen der beiden ausgewählten Hits expandiert. Hierbei werden die Zeichenpaare beider Sequenzen derart verglichen, dass ein Match $+1$ und ein Missmatch einer -1 entspricht. Die Erweiterung findet in einer Richtung solange statt, bis der aufsummierte Bewertungswert $X_{max} - X_d$ unterschreitet.

Stufe 5: Auswertung und Darstellung Für die Ausgabe werden die gefunden lokalen Übereinstimmungen zwischen einer Datenbank- und einer Suchsequenz mit einer Bewertungsfunktion nach deren Relevanz absteigend sortiert und ausgegeben. Zusätzlich können die gefundenen Übereinstimmungen auch grafisch dargestellt werden.

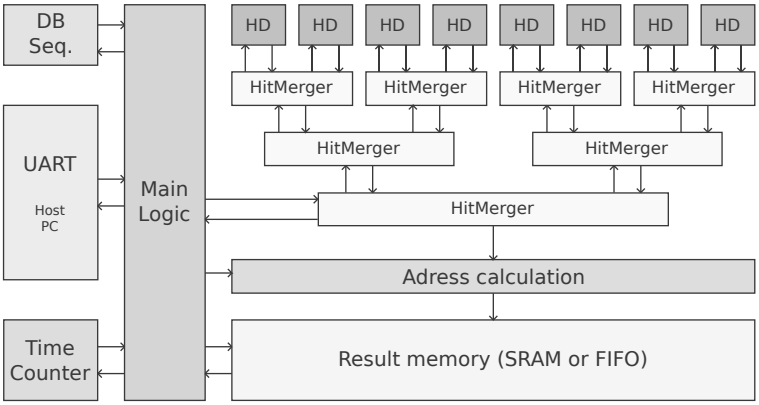


Abb. 6: Blockschaltbild der Umsetzung des BLAST Algorithmus in Hardware

3 Umsetzung

In diesem Kapitel wird eine Implementierung der ersten zwei Stufen des BLAST Algorithmus auf einem FPGA beschrieben. Diese Stufen wurden ausgewählt, weil sie zusammen den größten teil des Rechenaufwandes erzeugen [CWC04]. Die Implementierung basiert auf einer baumartigen Struktur zur parallelen Extraktion und Kombination von lokalen Übereinstimmungen zwischen einer Such- bzw. Datenbanksequenz (siehe Abb. 6).

Als Vereinfachung des Designs wird die zuvor beschriebene Bewertungsfunktion σ durch die Gleichheit ersetzt:

$$\sigma(\alpha \rightarrow \beta) = \begin{cases} \textit{True, Hit} & \text{für } \alpha = \beta \\ \textit{False, noHit} & \text{für } \alpha \neq \beta \end{cases} \tag{6}$$

Die maximale Größe eines Sequenzelements beträgt 5 bit, da ein Protein aus maximal 21 verschiedenen Aminosäuren bestehen kann. Zusätzlich wird als „uninitialisierter Zustand“ bzw. leeres Element der Vektor „`00000`“ vorgesehen.

Der *Time Counter* (in Abb. 6) wird für den Laufzeitvergleich mit einer Referenzimplementierung verwendet. Die Datenbanksequenz wird im *DB Sequence* Speicher vor der Verarbeitung gespeichert. Die Suchsequenz hingegen wird direkt in den Blättern der Baumstruktur gespeichert. Die weiteren Funktionsblöcke werden in den folgenden Abschnitten beschrieben.

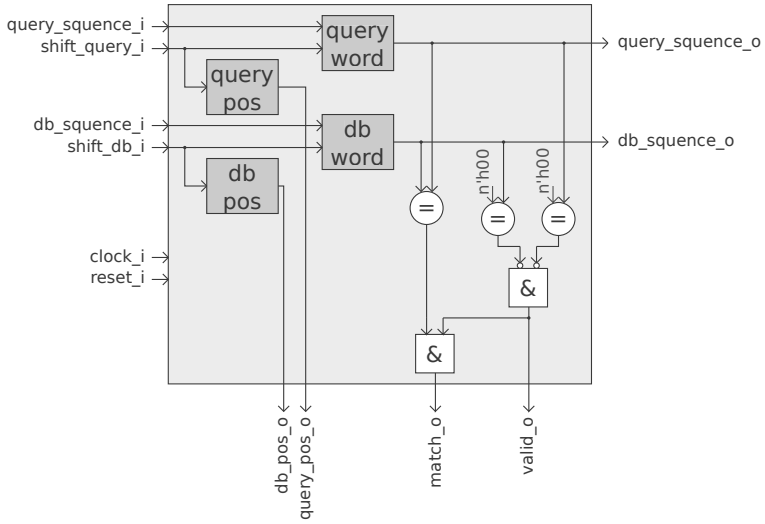


Abb. 7: Blockschaltbild des Hit-Matchers

3.1 Hit-Matcher

Der Hit-Matcher (siehe Abb. 7) ist die unterste Komponente innerhalb der Baumstruktur. Dieses Modul besitzt je ein Speicher für ein Wort der Such- und der Datenbanksequenz, welche unabhängig voneinander über den jeweiligen `shift`-Eingang beschrieben werden können. Das jeweilige aktuell gespeicherte Element wird am entsprechenden Ausgang ausgegeben. Sofern notwendig kann zusätzlich die Position bzw. die Anzahl der Schiebevorgänge mitgespeichert werden. Erst wenn in beiden Elementspeichern ein Element gespeichert ist (Bit-Vektor ungleich 0), kann ein korrekter Elementvergleich durchgeführt werden. Dies wird mit einer '1' am `valid_o`-Ausgang gekennzeichnet. Der `match_o`-Ausgang zeigt an, ob die beiden gespeicherten Elemente gleich sind, wobei der Ausgang nur '1' werden kann, wenn das `valid`-Flag gesetzt ist. Hierdurch wird ein positiver Match noch nicht gefüllter Vergleicher unterbunden. In der aktuellen Implementierung der Baumstruktur werden die Positionsinformationen der Sequenzen an dieser Stelle nicht benötigt und entfallen daher bei der Synthese durch Optimierung.

3.2 Hit-Detektor

Der Hit-Detektor (siehe Abb. 8) stellt ein Blatt der Baumarchitektur dar und besteht aus n Hit-Matchern, welche in einer Kette so angeordnet werden, dass die beiden Sequenzen durch die Hit-Matcher geschoben werden können. Die zuvor beschriebenen *q-words* werden durch UND-Gatter der Breite q realisiert, wobei die Vergleichsergebnisse der ersten

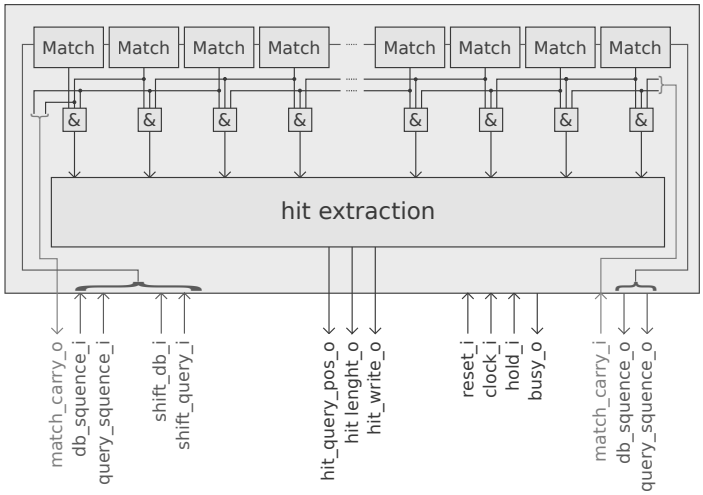


Abb. 8: Blockschaltbild des Hit-Detektors

$q-1$ Hit-Matcher einem eventuell vorgeschalteten Hit-Detektor zur Verfügung gestellt werden. Mit dem Schieben der Datenbanksequenz wird der Hit-Extraktionsprozess gestartet, welcher sequentiell die Ergebnisse der n Hit-Matcher auswertet und zusammenfasst. Ist beispielsweise das i.te *q-word* identisch, so wird die Position des entsprechenden UND-Gatters in einem internen Register zwischengespeichert. Sind die nachfolgenden *q-words* ebenfalls identisch so wird die Länge des Hits inkrementiert, bis ein *q-word* nicht identisch ist oder aber das Ende erreicht wurde. Ist dies der Fall, wird der ermittelte Hit an die nächste Ebene weitergegeben, in dem die Position und Länge des Hits am Ausgang ausgegeben wird und das Ausgangssignal `hit_write_o` für einen Taktzyklus auf '1' gesetzt wird.

3.3 Hit-Merger

Der Hit-Merger (siehe Abb. 9) stellt einen Knoten innerhalb der Baumarchitektur dar. Dessen Kinder sind abhängig von der Baumtiefe entweder zwei Hit-Detektoren oder aber zwei Hit-Merger. Die Anzahl der noch zu erstellenden Kinderknoten wird auf jeder Ebene dekrementiert und über ein VHDL-Generic an die Kinder des Knotens übergeben, wodurch während der Synthese rekursiv die in Abb. 6 dargestellte Baumstruktur erzeugt wird. Ist der Wert des Generics > 1 so werden als Kinder zwei Hit-Merger und bei einem Wert gleich eins zwei Hit-Detektoren (unterste Ebene) erzeugt.

Nachdem die Datenbanksequenz um ein Element verschoben wurde und die `busy_o`-Signale der beiden Kinder auf '1' wechseln, werden eingehende Hits in dem jeweiligen FIFO zwischengespeichert. Die in den FIFOs gespeicherten Hits werden nacheinander ausgelesen

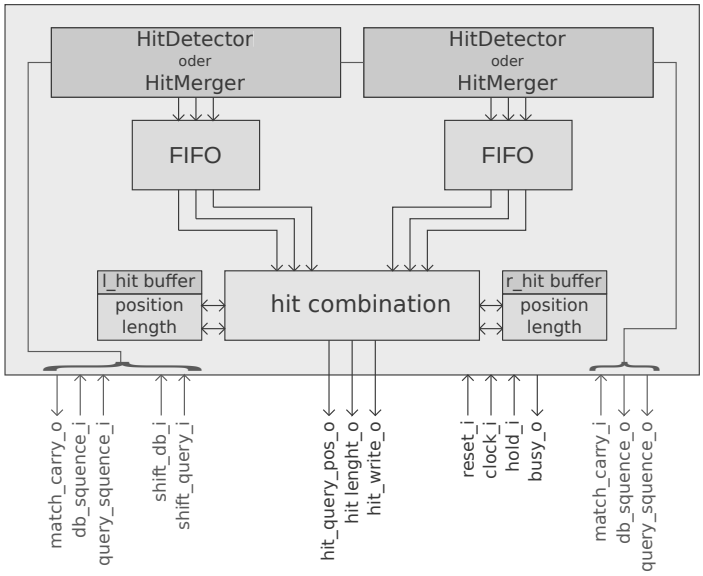


Abb. 9: Blockschaltbild des Hit-Mergers

und je nach FIFO geprüft. Endet der Hit im linken FIFO am rechten Rand des Kindes, so wird der Hit in den linken Hit-Zwischenspeicher geschrieben. Beginnt der Hit im rechten FIFO am linken Rand des Kindes, so wird der Hit in den rechten Hit-Zwischenspeicher geschrieben. Ist die Überprüfung negativ, so wird der Positionsvektor des Hits um ein Bit (MSB) erweitert. Für den linken FIFO wird eine ’0’ und für den rechten FIFO eine ’1’ angefügt. Anschließend wird der Hit an die nächste Ebene weitergegeben.

Nachdem die Bearbeitung innerhalb der beiden Kinder beendet ist (`busy_o`-Signale beider Kinder auf ’0’) und alle Hits aus den FIFOs verarbeitet wurden, wird geprüft, ob beide Hit-Zwischenspeicher einen Hit enthalten. Ist dies der Fall, so werden beide Hits kombiniert, indem als Startposition des resultierenden Hits die Position des linken Hits und als Länge die Summe beider Hit-Längen verwendet wird. Enthält nur einer der beiden Hit-Zwischenspeicher einen Hit, so wird dessen Positionsvektor (wie oben beschrieben) erweitert und an die nächste Eben weitergegeben. Der `busy_o`-Ausgang des Hit-Mergers ist ’1’, solange eines der beiden Kinder aktiv ist oder sich Hits innerhalb der FIFOs bzw. der Hit-Zwischenspeicher befinden.

Die maximal Anzahl f der Speicherplätze in einem FIFO lässt sich mit folgender Formel bestimmen, wobei w der Anzahl der Hit-Matcher innerhalb eines Hit-Detektors, q der Breite der *q-words* und *th* der aktuellen Tiefe innerhalb der Baumstruktur entspricht:

$$f = \frac{w}{q+1} \cdot 2^{(th-1)} \tag{7}$$

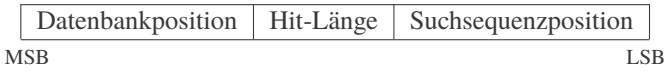
Die Breite der einzelnen FIFO-Worte hängt hierbei von der Breite des Positionsvektors und des Längenvektors ab, wobei die Breite des Positionsvektors wiederum von der Tiefe innerhalb der Baumstruktur abhängt:

$$width = \mathrm{ld}(w) + \mathrm{ld}(th - 1) + \mathrm{ld}(maxquerylength) \tag{8}$$

3.4 Adressberechnung und Ergebnisspeicher

Das Adressberechnungsmodul ist ein Schaltnetz, welches die aus dem aktuellen Shift-Wert der Datenbanksequenz und einer Hit-Position innerhalb der Suchsequenz die zugehörige Datenbankposition des Hits berechnet. Zusätzlich wird die Länge eines Hits korrigiert, da diese bisher nur der Anzahl der aufeinander folgenden *q-words* entspricht, aber nicht der Anzahl der identischen Elemente. Daher wird $q - 1$ auf die Länge eines Hits aufaddiert.

Die zu einem Hit gehörenden Informationen werden in einem Ergebnisspeicher zusammengetragen. Dieser wird durch einen FIFO realisiert, wobei die Größe des FIFO der in Abschnitt 3.3 vorgestellten Formel entspricht. Ein Word besitzt dabei folgenden Aufbau:



3.5 Ablaufsteuerung

Die Ablaufsteuerung befindet sich in der *Main Logic* und steuert den gesamten Ablauf des Vergleichsprozesses. Vor einem Vergleichsvorgang muss der Host-PC zunächst eine Datenbank- und eine Suchsequenz übermitteln. Anschließend kann der Vergleichsvorgang mit dem Startkommando gestartet werden. Ein Vergleichsschritt wird durch einen Shift-Vorgang der Datenbanksequenz initiiert. Anschließend werden alle Hits durch die Hit-Merger-Baumstruktur ermittelt und im Ergebnisspeicher gespeichert. Nachdem der Vergleichsschritt beendet ist, werden die gefunden Hits an den Host-PC übermittelt. Es werden nacheinander insgesamt $|u| + |w|$ Vergleichsschritte durchgeführt, mit der Datenbanksequenz u und der Suchsequenz w. Beendet wird der Vergleichsprozess durch das Übermitteln der durch den *Time Counter* ermittelten Laufzeit.

4 Ergebnisse

In diesem Kapitel wird die entstandene Architektur mit einer Referenzimplementierung auf einem herkömmlichen PC (Intel Core i5 @ 2.80 GHz, 8 GB RAM, Windows 7 - 64-bit) verglichen. Hierbei werden verschiedene Aspekte und Konfigurationsmöglichkeiten des BLAST Algorithmus näher untersucht. Die FPGA-Implementierung wird auf einem *Altera*

Suchlänge	Hits	PC / ms	FPGA / ms	FPGA / Taktzyklen
8	149	12.855	1.201	60093
32	786	55.155	1.219	60974
64	1598	94.331	1.246	62304
128	3050	195.607	1.296	64791
256	6263	316.306	1.406	70310
512	12081	640.919	1.611	80594
1020	23871	1241.095	2.006	100326

Tab. 1: Laufzeitmessung unter Veränderung der Suchlänge

q-word Größe	Hits	PC / ms	FPGA / ms	FPGA / Taktzyklen
1	10844	47.630	1.288	64419
2	2866	47.009	1.230	61517
3	786	40.605	1.219	60974
4	199	52.516	1.217	60899
5	51	36.553	1.217	60888

Tab. 2: Laufzeitmessung unter Veränderung der *q-word* Größe

DE2 Development and Education Board mit einem Takt von 50 MHz ausgeführt. Die Vergleichssoftware dient gleichzeitig der Kommunikation mit der auf dem DE2 Board befindlichen Teil-Implementierung des BLAST Algorithmus.

Zunächst wird auf einer Nukleotid-Datenbanksequenz mit 1.813 Basen mit unterschiedlich langen Suchsequenzen gesucht. Dieser Test zeigt, wie die Anzahl der gefunden Hits mit der Länge der Suchsequenz deutlich ansteigt. Wie in Tab. 1 gezeigt, steigt die Laufzeit der FPGA-Architektur im Gegensatz zur PC-Implementierung nur sehr langsam an. Der Laufzeitanstieg der FPGA Architektur wird durch den Anstieg der zu kombinierenden Hits innerhalb der Baumstruktur hervorgerufen.

Ein weiterer Parameter ist die Größe der *q-words*. Getestet wird die Änderung der *q-word* Größe mit einer Nukleotid-Datenbanksequenz mit 1.813 Basen und einer Nukleotid-Suchsequenz mit 32 Basen. Wie in Tab. 2 gezeigt, hat die Änderung der *q-word* Größe kaum Einfluss auf die Laufzeit, da dieser Schritt innerhalb der FPGA Architektur durch ein Schaltnetz realisiert wurde.

Die Detektorbreite hat einen großen Einfluss auf die Laufzeit der FPGA Implementierung, da die Ergebnisse der Hit-Matcher sequentiell ausgewertet werden. Den Einfluss auf die Laufzeit wird anhand einer Nukleotid-Datenbanksequenz mit 1.813 Basen und einer Nukleotid-Suchsequenz mit 127 Basen analysiert. Wie in Tab. 3 gezeigt, hat die Detektorbreite einen massiven Einfluss auf die Laufzeit der FPGA Implementierung. Je kleiner die Detektorgröße gewählt wird, desto mehr Hit-Merger-Ebenen besitzt die resultierende Baumstruktur. Dies erfordert jedoch auch mehr FIFO-Speicher innerhalb des FPGAs.

Hit-Detektor Breite	Hits	PC / ms	FPGA / ms	FPGA / Taktzyklen
4	3029	152.202	0.233	11897
8	3029	152.142	0.392	19630
16	3029	152.136	0.681	34086
32	3029	152.132	1.286	64295
64	3029	152.148	2.523	126160

Tab. 3: Laufzeitmessung unter Veränderung der Hit-Detektor Breite

5 Fazit und Ausblick

Es wurde gezeigt, dass die ersten beiden Stufen des BLAST Algorithmus gut durch eine parallel arbeitende Baumstruktur innerhalb eines FPGAs realisiert werden können. Allerdings ist diese Art der Implementierung für größere Protein- bzw. Nukleotidsequenzen sehr hardwarelastig. Eine Reduktion der benötigten Gatter und Zwischenspeicher ist durch eine Verbreiterung der Hit-Detektoren möglich, jedoch mit einer Verlängerung der Laufzeit verbunden. Durch den Einsatz eines größeren FPGAs oder durch die parallele Verwendung mehrerer FPGAs lassen sich so auch längere Sequenzen schnell miteinander vergleichen.

In zukünftigen Arbeiten könnten die Stufen 3 und 4 des BLAST Algorithmus implementiert werden, um den vollständigen Algorithmus in einem FPGA zu realisieren. Außerdem wird in der aktuellen Implementierung nach einem Schiebevorgang der Datenbanksequenz gewartet, bis alle zugehörigen Hits ermittelt und im Ergebnisspeicher eingetragen wurden. Jedoch kann die Baumstruktur auch als mehrstufige Pipeline aufgefasst werden. Hierdurch müsste für das erneute Schieben der Datenbanksequenz lediglich die nachfolgende Hit-Merger-Ebene leer sein. Dies erfordert jedoch einen Mehraufwand in der Ablaufsteuerung. Schlussendlich wäre zu untersuchen wie eine Bewertungsfunktion auf Basis der BLOSUM- oder PAM-Matrix effizient realisiert werden kann.

Literaturverzeichnis

[Al90] Altschul, Stephen F.; Gish, Warren; Miller, Webb; Myers, Eugene W.; Lipman, David J.: Basic Local Alignment Search Tool. Journal of Molecular Biology, 215(3):403–410, 1990.

[CWC04] Cameron, Michael; Williams, Hugh E.; Cannane, Adam: Improved gapped alignment in BLAST. IEEE/ACM Transactions on Computational Biology and Bioinformatics, 1(3):116–129, 2004.

[Go91] Gokhale, Maya et al.: Building and Using a Highly Parallel Programmable Logic Array. IEEE Computer, 24(1):81–89, 1991.

[NC] NCBI: , GenBank and WGS Statistics. `http://www.job-coaching.de/#/overview` (Stand 02.07.2016).

[Ti] TimeLogic: , Accelerated BLAST Performance with Tera-BLAST™: a comparison Technical Note, 2013.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 481

A Hardware Accelerator Framework Approach for Dynamic Partial Reconfigurable Overlays on Xilinx PYNQ

Benedikt Janßen[1], Tim Wingender[2], Michael Hübner[3]

Abstract: Reconfigurable System-on-Chips (SoC) combine processor cores with Field-Programmable Gate Array (FPGA) fabric. Thereby, these systems enable to optimize the execution of application to some extend by hardware accelerators in the FPGA fabric. However, hardware accelerator development requires special skills from the developer since hardware development differs substantial from software development. Overlays offer a way to abstract the complexity of FPGA usage by predefined programmable hardware architectures. With Dynamic Partial Reconfiguration (DPR) it becomes possible to exchange parts of an overlay's architecture without affecting the operation of the remaining parts. In this article, we present a first version of our framework to ease the integration of hardware accelerators in Python via DPR overlays. The integration into Python is based on Xilinx PYNQ. The framework approach is based on our Python package 'pynqpartial'.

Keywords: Hardware Accelerator; FPGA; Python; PYNQ

1 Introduction

Application-specific hardware accelerators enable an optimized application execution. Besides the implementation into an application-specific integrated circuit (ASIC), Field-Programmable Gate Arrays (FPGAs) offer another more flexible way for the implementation. Their functionality can be defined by downloading configuration bitstreams in the field. The flexibility to program the hardware design in the field comes at the cost of an increased number of transistors and thus, in chip area and power consumption. However, it has been shown that FPGAs often offer a beneficial performance per watt ratio in comparison to pure processor and graphic processing unit (GPU) based designs [Le16][Nu16][AKJH16].

The higher optimized execution comes at the cost of an increased programming complexity. Within the FPGA research community, FPGA overlays are an active field of research to overcome this hurdle. Overlays abstract the complexity and challenges of hardware design by offering a predefined but programmable hardware architecture which is optimized for a class

[1] Ruhr-University Bochum, Embedded Systems for Information Technology, Universitätsstrasse 150, 44780 Bochum, Germany benedikt.janssen@ruhr-uni-bochum.de
[2] Ruhr-University Bochum, Embedded Systems for Information Technology, Universitätsstrasse 150, 44780 Bochum, Germany tim.wingender@ruhr-uni-bochum.de
[3] Ruhr-University Bochum, Embedded Systems for Information Technology, Universitätsstrasse 150, 44780 Bochum, Germany michael.huebner@ruhr-uni-bochum.de

doi:10.18420/in2017_44

of applications. Even though overlays are not optimized for a specific application, it has been shown that it is possible to maintain a high performance [CA13][JMF16][AKJH16][Pu14].

If an overlay targets an increasing bandwidth of functionality, its hardware resource requirements will increase too. Thereby, the resources available in the FPGA fabric are a limitation for such comprehensive overlays. Dynamic partial reconfiguration (DPR) offers a way out by enabling a temporarily shared usage of FPGA resources among different overlay processing functions. This sharing is done in a time-multiplexed manner. Thus, DPR enables a better resources utilization and resources efficiency [Ri16b][Ri16a][NL16]. For DPR a partial bitstream is loaded onto the FPGA, targeting only a certain part of its area. Within current FPGAs, this area need to be predefined during hardware design time and are called reconfiguration partition (RP).

The goal of our work is to enable a better integration of hardware accelerators into the software domain. To achieve this goal, we follow two approaches. First, to ease the hardware accelerator usage for software developers, and second, ease hardware accelerator interface creation for hardware developers. Therefore, we are developing a framework to support hardware developers to integrate their hardware into Python. Our work extends the Xilinx PYNQ project and targets the Xilinx Zynq-7000 System-on-Chip (SoC). The Zynq consists of an ARM A9 dual-core processor, denoted as processing system, and FPGA fabric, denoted as programmable logic.

The next Section 2 of this article presents the work related to our research. It is followed by a detailed explanation of our approach in Section 3 and a description of the implementation in Section 4. We evaluated the current version of our framework on the PYNQ-Z1 with multiple basic applications. The evaluation setup and results are presented in Section 5. Finally, Section 6 concludes the presented work and gives an outlook to future work.

2 Related Work

The Xilinx PYNQ open-source project was launched in 2016. The project goal is to enable the utilization of the Zynq's processing system and programmable logic through the productivity language Python [Xi16]. On the software side, PYNQ consists of a Python package, called 'pynq', which is shipped with a Linux image for the Xilinx Zynq. On the hardware side, the project develops an overlay that helps to evaluate the possibilities of the FPGA fabric from Python. By the time this article was written, the project supports the PYNQ-Z1 board as hardware platform. Subsection 3.1 analyses the PYNQ project more detailed.

Integrating hardware accelerators into the software domain is an ongoing research topic within the FPGA community. The basic communication mechanism between hardware and software in [Ka13] and [PK15] is memory-mapped register access. It is also the basis of hardware interface of the pynq package.

Xilinx SDSoC is a high-level synthesis (HLS) development environment for the Zynq-SoC. SDSoC enables a semi-automated implementation of hardware/software co-designs. For basic implementations, the developer does not need to be familiar with hardware development mechanism, e.g. hardware description languages. However, to guide SDSoC to an optimized implementation through directives, certain hardware properties and behavior need to be understood. The hardware/software co-design implemented by SDSoC is either based on Linux image which contains the application or the application is compiled into a bare-metal executable. For both cases, wrapper functions for the hardware access are inserted. In [KG16], the authors describe their work to enable DPR designs within SDSoC. They used the Tcl script interface of SDSoC to invoke the necessary commands. This way, the FPGA fabric can be utilized through comprehensive application-specific hardware accelerators. For their implementation, only minor hardware development knowledge is necessary.

FUSE targets to abstract the architecture of reconfigurable systems from the software developer [IS11]. FUSE is a front-end user framework to manage hardware accelerators. Software tasks represent the loaded accelerators to the software developers and enable a POSIX thread based API. This way, software developers do not need to have knowledge about the HW accelerator. Instead, it can be used through multithreaded programming models.

'hthreads' is a computational architecture created by Peck et al. [Pe06]. It has real-time and multithreading support, as well as POSIX-like threads. It is based on the concept of hybrid threads. The implementation is based on the hthreads microkernel. It is real-time capable, with support for multithreading and POSIX-like threads. The application source code is translated into a 'hardware intermediate form', which can be translated into VHDL.

ReconOS is a Linux-based operating system which provides libraries and drivers for hardware interaction [Ag14]. Moreover, its authors define a programming model and a dynamically reconfigurable architecture. The architecture developer is supported by a system builder tool, that integrates the system components. A distinguished feature of ReconOS is the migration of tasks from software to HW and vice versa.

In [AP16], the authors of hthreads and ReconOS, Andrews, Platzner, et al., summarize the goal of their work and provide a retrospective, with an emphasis on the programming model. They conclude that high-level programming models are a key for the success of reconfigurable manycore systems. Moreover, they point out that their results show, that tradeoffs between portability, scalability and performance are necessary. These key-objectives need to be considered when enhancing the hardware and software architectures.

R3TOS is a real-time operating system for reconfigurable devices [It13]. It supports hardware and software tasks and provides an API for developers. The communication between the hardware and software is based on buffers in a shared memory.

RIFFA is an open-source reusable integration framework for FPGA accelerators. In [JFK12],

Jacobsen and Kastner present the second version, RIFFA 2.0, which supports C/C++, Java 1.4+ and Python 2.7+. In software, byte arrays are used as data interface, the control of the hardware is done over PCIe register accesses. The communication is based on PCIe and hardware accelerators are interfaced with a FIFO-based protocol.

Sheffield et al. present 'Three Fingered Jack' [SAK12], a vectorising compiler and HLS tool to map certain Python loops onto an FPGA. They use a Python decorator '@fpga', to mark functions that should be redirected to their toolchain. The toolchain creates processing elements (PEs) that are placed in a cluster to compute the loop in parallel.

In [LKM16], Logaras et al. present SysPy, a Python-based tool to describe, verify and start the design implementation. Besides Python it is possible to describe parts of the system with VHDL. For the verification, it is possible to use Python-based testbenches and generate waveform diagrams. The implementation is supported by the generation of scripts for synthesis and implementation. Thus, SysPy is a Python-based hardware design tool for hardware developers than an application acceleration tool for software developers.

3 Framework Approach

Our framework approach utilizes the pynq package from the PYNQ project, as shown in Fig. 1. We chose this approach to build on top of an active project with a growing community. The framework utilizes the programmable logic management capabilities of the pynq package. The following Subsection 3.1 describes the interplay between our framework and the PYNQ components. The usage of DPR hardware accelerators through our framework is based on a DPR overlay concept that is described in Subsection 3.2.

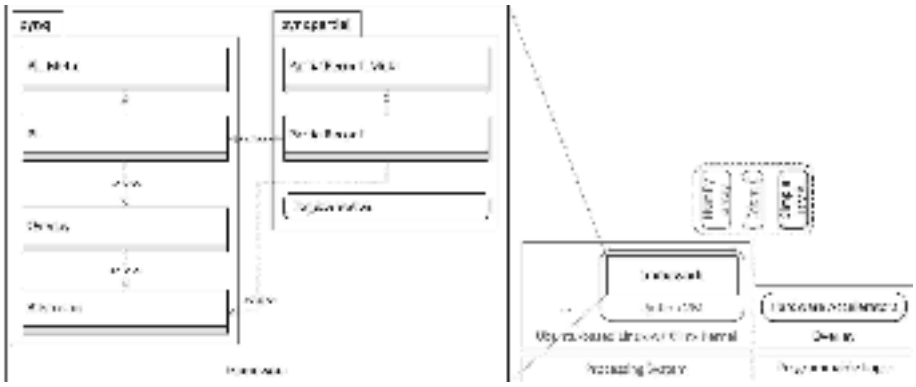


Fig. 1: Overview about the framework structure and its integration into PYNQ.

3.1 PYNQ Project Evaluation

The PYNQ project defines the web application Jupyter Notebook as its standard Python programming interface. Moreover, it uses the concept of overlays to utilize the programmable logic. It provides two classes for the developer to interact with the programmable logic itself, the 'Bitstream' and the 'Overlay' class. Moreover, it contains several classes to interact with hardware modules inside the programmable logic. The classes wrap the hardware by providing an API. It is also possible to wrap the FPGA configuration bitstream inside a Python package to enable an automated installation on other PYNQ systems via the Python package manager 'pip' [Ta16].

The programmable logic management is implemented within the 'PL' class, that inherits from the 'PL_Meta' metaclass. To avoid conflicts in the usage of the programmable logic between different classes, the PL class uses a client-server-approach based on the Python multiprocessing package to enable a central management. For our framework, we utilize the PL class to download bitstreams onto the programmable logic. This functionality is implemented within the 'download' method of the Bitstream class. The download is done through a driver provided by Xilinx and integrated into the PYNQ Linux image.

Moreover, the PYNQ Linux image includes another Xilinx driver that enables the allocation of physically contiguous memory. Physically contiguous memory is beneficial when working with hardware accelerators to enable simple direct memory access (DMA) from hardware, instead of complex scatter-gather DMA. The DMA class, included in the pynq package, provides a method to allocate physical contiguous memory from Python through the C Foreign Function Interface (CFFI). The translation of virtual memory from within Linux to physical addresses is implemented inside the 'MMIO' class that is based on the mmap system call. We utilize the MMIO class to access registers of the evaluation hardware.

3.2 Dynamic Partial Reconfigurable Overlay Concept

Our DPR overlay concept adopts and integrates into Python's package concept. As described in Section 3.1, overlay bitstreams can be wrapped in Python packages. We extend this relation, to relate the package itself to the static part of a DPR overlay. The classes, contained in package module, implement the methods to communicate with the hardware accelerators. A specific class is related to a specific hardware accelerator, and thus to a specific set of partial bitstreams. We call those classes hybrid classes, as they incorporate hardware and software. The concept is depicted in Fig. 2.

When an instance of a hybrid class is created, the object exists in the memory of the processing system, as well as in the programmable logic. Therefore, when the instance is deleted, the memory, as well as the programmable logic area needs to be freed.

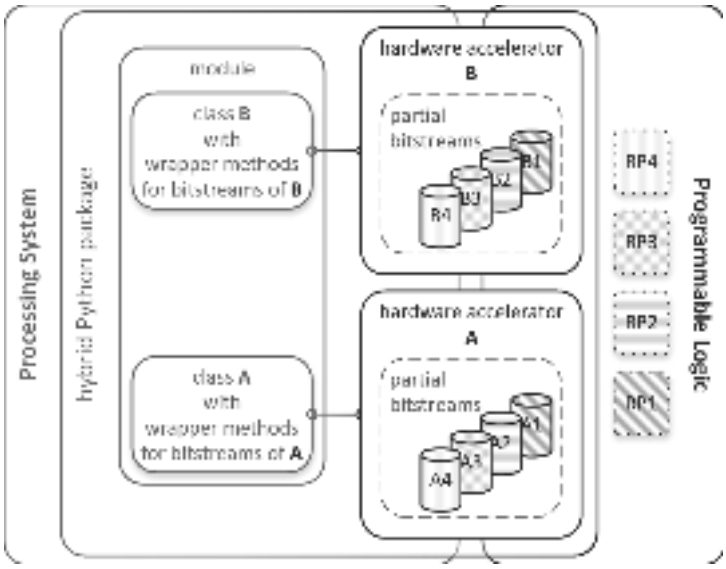


Fig. 2: Overview about the hybrid Python packages concept for DPR overlays.

4 Framework Implementation

To implement our concept, the framework approach consists of the Python package 'pynqpartial' and a hardware design template. Moreover, it defines a hardware/software interface, as introduced in Fig. 1. This part of the work is described in Subsection 4.1. For the communication between hardware and software, we use physical contiguous memory buffers. For the data type of the buffers CFFI supported data types can be used. This interfacing is described in Subsection 4.2.

4.1 Python Package

On the software side, our framework depends on our Python package pynqpartial []. For this work, we extended the pynqpartial package by the decorator function 'hw_acceleration' code to serve as the framework basis.

The decorator '@hw_acceleration' creates a wrapper, which interacts with the hardware accelerator. The function to be accelerated is passed as an argument. The execution sequence is shown in Fig. 3.

Before the wrapper function is created, the compatibility between the hardware accelerator and the hardware platform is checked. This process is shown in Fig. 3a). Therefore, the overlay must include a hardware description file, which describes the compatibility of the hardware functions. For this hardware description file, we chose the JSON format.

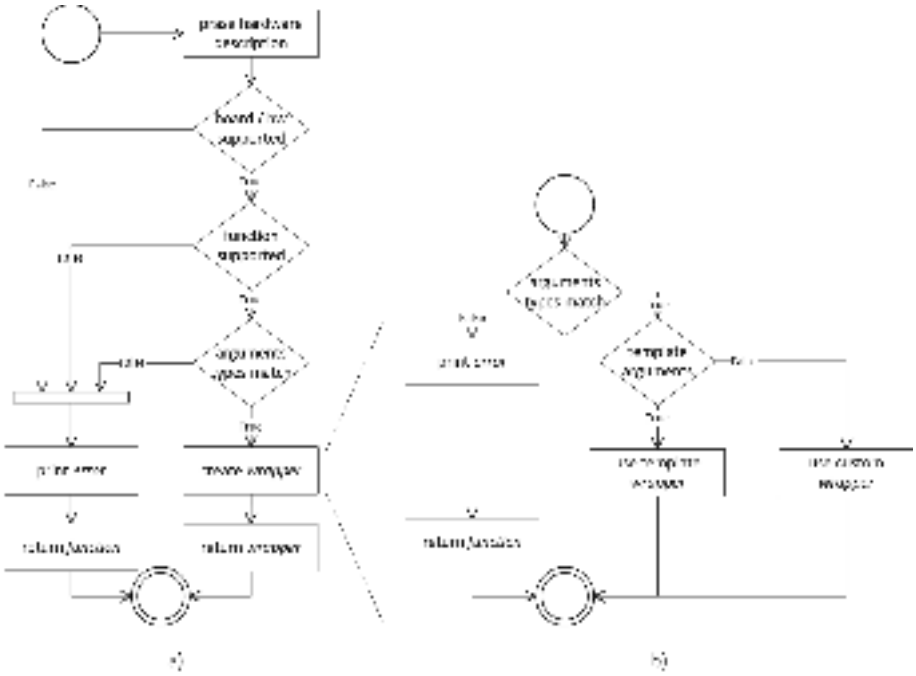


Fig. 3: Control flow sequence of wrapper creation (a) and wrapper execution (b).

Fig. 3b) shows the execution of the wrapper. Since Python is a dynamically typed language, we need to check the function arguments each time the function is called. With the first version of the framework, we support only keyword-only arguments. If the arguments match the requirements of our accelerator interface, a predefined wrapper function is returned. The following Subsection 4.2 describes the interfacing of the accelerators. The predefined wrapper is based on two instance of the DMA class to move data to and from the accelerator. For other accelerator interfaces a template function needs to be filled with the specific hardware calls by the hardware developer.

4.2 Accelerator Interface and Data Types

Currently, we support Xilinx's simple DMA cores as accelerator interface. Our wrapper is able to interface hardware accelerators with one or two input arrays and one output array. Any other hardware interface requires an adaptation of the hardware wrapper code. Since the DMA cores provide an AXI Stream interface, hardware accelerators should be compatible with this protocol. The input and output buffers need to be created manually by the application. With this first framework version, we evaluate NumPy arrays as interface for the hardware accelerators. As mentioned earlier currently up to two input buffers and

one output buffer are supported. The management is not optimized and involves several steps. The basic sequence for buffer allocation is listed below.

1. Create NumPy arrays for input and output data
2. Convert physical contiguous memory buffers to NumPy arrays
3. Copy data from NumPy input array to physical contiguous memory input array
4. Do hardware processing
5. Copy data from physical contiguous memory output array to NumPy output array

This flow has some potential for optimization, since (1) we currently need two NumPy arrays, for input and output data, and (2) the data needs to be copied from the NumPy arrays to the buffers. Aspect (1) depends on the application, for sequential memory accesses a single buffer can be sufficient. However, when dealing with random memory access patterns, it is likely that valid data will be overwritten. Aspect (2) depends on the memory allocation, NumPy arrays do not use physical contiguous memory, but virtual one. Therefore, we plan to introduce a data type which utilizes physical contiguous memory as data memory for NumPy arrays. This way, the software interface is a NumPy array and the hardware interface is a physical contiguous memory buffer.

5 Framework Evaluation

The focus of the evaluation lies on the decorator based hardware wrapper functionality. A data copy application, as well as a threshold filter have been used for the evaluation. The implementation is based on Xilinx Vivado HLS, its structure is depicted in Fig. 4.

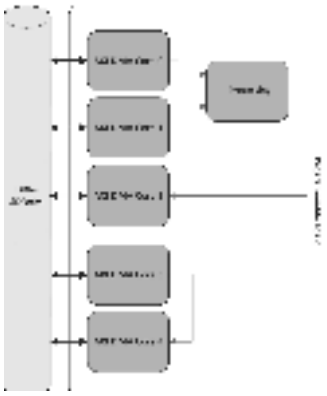


Fig. 4: Structure of the evaluation design; vector addition application uses three DMA channels, data copy application uses one per direction which are connected directly.

Fig. 5 shows the data copy application. We compare our hardware implementation against a for-loop, as well as NumPy's copy function. Since we are using NumPy.copy to copy the NumPy array data into the physical contiguous memory buffers, the hardware accelerated application is always slower. The execution time is not increasing significantly with an increase in data to be transfered. Therefore, it can be concluded that the communication overhead for the hardware is the bottleneck.

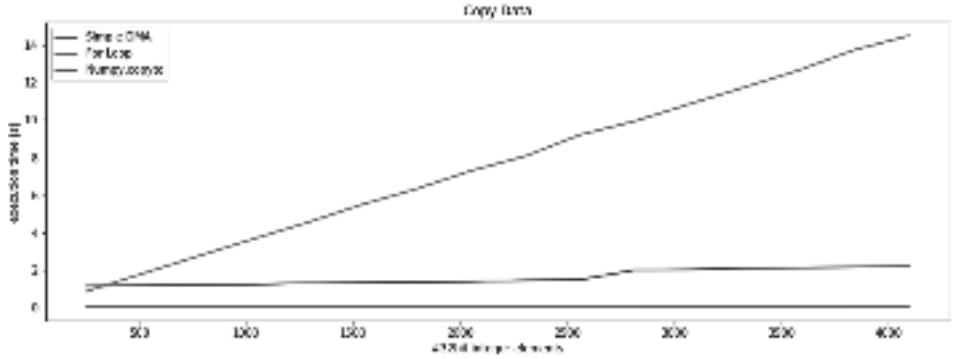


Fig. 5: Copy data application execution time over amount of data copied.

In the second evaluation benchmark we filtered four images with a threshold filter. The results are shown in Fig. 6. The hardware filter is about 56 times fast for processing the smallest image. For the larger images the speedup factor is around 98. The difference can be based on the communication overhead for configuring the DMA cores. The Python implementation is listed below. 'np_img' is a NumPy array that stores the image data.

```
np_img_flat = np_img.flatten()
for i in range(num_elmnt):
        if np_img_flat[i] >= thresh_values[0]:
                dstBuf_sw[i] = thresh_values[1]
        else:
                dstBuf_sw[i] = np_img_flat[i]
```

6 Conclusion and Outlook

In this article, we present our framework approach for DPR overlays on Xilinx PYNQ. We extended the pynqpartial package with function wrapper code to interact with hardware accelerators interfaces. Currently, only simple DMA cores are supported as hardware interface without manual adaption. The basic handling of the FPGA fabric is done via the 'Overlay' and the 'Bitstream' class of the pynq package. To use our framework, minor modifications to the pynq package are necessary.

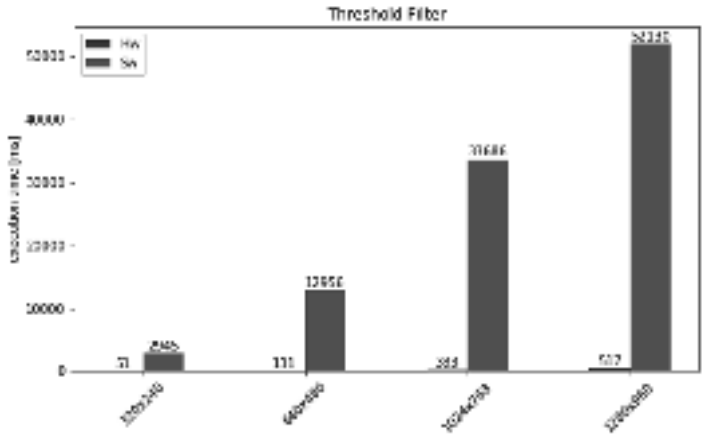


Fig. 6: Threshold filter execution time over image size.

In comparison with the related work, we focus on the interface between software and hardware developers. Therefore, unlike [SAK12], we do not target a just-in-time acceleration of software, but a library based acceleration. Moreover, we do not target an eased implementation of hardware accelerators, as for instance [LKM16], but a simplification of interface building for hardware developers. In comparison to the approaches taken by the authors of FUSE [IS11], hthreads [Pe06], ReconOS [Ag14] and R3TOS [It13], our hardware management is done at a higher level within Python. Therefore, it can be ported to other Linux-based systems on Zynq that support Python.

With this first framework version, we evaluated our approach. Up until now we do not have a comprehensive performance analysis, since our goal was to evaluation the functionality of our approach. Therefore, we will proceed with an analysis of the performance and bottlenecks, as well as requirements for more complex applications. For the future we plan to evaluate our framework with a data processing application from the process industry and extend it further based on the requirements of this application. Another aspect is the evaluation of a specific hardware type to avoid unnecessary memory allocation.

Acknowledgment

This work was done under the support of BMWi project MiMEP (03ET1314A).

References

[Ag14] Agne, A.; Happe, M.; Keller, A.; Lübbers, E.; Plattner, B.; Platzner, M.; Plessl, C.: ReconOS: An Operating System Approach for Reconfigurable Computing. IEEE Micro, 34(1):60–71, Jan 2014.

[AKJH16] Al Kadi, Muhammed; Janssen, Benedikt; Huebner, Michael: FGPU: An SIMT-Architecture for FPGAs. In: Proceedings of the 2016 ACM/SIGDA International Symposium on Field-Programmable Gate Arrays. FPGA '16, ACM, New York, NY, USA, pp. 254–263, 2016.

[AP16] Andrews, D.; Platzner, M.: Programming models for reconfigurable manycore systems. In: 2016 11th International Symposium on Reconfigurable Communication-centric Systems-on-Chip (ReCoSoC). pp. 1–8, June 2016.

[CA13] Capalija, D.; Abdelrahman, T. S.: A high-performance overlay architecture for pipelined execution of data flow graphs. In: 2013 23rd International Conference on Field programmable Logic and Applications. pp. 1–8, Sept 2013.

[IS11] Ismail, A.; Shannon, L.: FUSE: Front-End User Framework for O/S Abstraction of Hardware Accelerators. In: 2011 IEEE 19th Annual International Symposium on Field-Programmable Custom Computing Machines. pp. 170–177, May 2011.

[It13] Iturbe, X.; Benkrid, K.; Hong, C.; Ebrahim, A.; Torrego, R.; Martinez, I.; Arslan, T.; Perez, J.: R3TOS: A Novel Reliable Reconfigurable Real-Time Operating System for Highly Adaptive, Efficient, and Dependable Computing on FPGAs. IEEE Transactions on Computers, 62(8):1542–1556, Aug 2013.

[JFK12] Jacobsen, M.; Freund, Y.; Kastner, R.: RIFFA: A Reusable Integration Framework for FPGA Accelerators. In: 2012 IEEE 20th International Symposium on Field-Programmable Custom Computing Machines. pp. 216–219, April 2012.

[JMF16] Jain, A. K.; Maskell, D. L.; Fahmy, S. A.: Are Coarse-Grained Overlays Ready for General Purpose Application Acceleration on FPGAs? In: 2016 IEEE 14th Intl Conf on Dependable, Autonomic and Secure Computing, 14th Intl Conf on Pervasive Intelligence and Computing, 2nd Intl Conf on Big Data Intelligence and Computing and Cyber Science and Technology Congress(DASC/PiCom/DataCom/CyberSciTech). pp. 586–593, Aug 2016.

[Ka13] Kadi, M. A.; Rudolph, P.; Gohringer, D.; Hubner, M.: Dynamic and partial reconfiguration of Zynq 7000 under Linux. In: 2013 International Conference on Reconfigurable Computing and FPGAs (ReConFig). pp. 1–5, Dec 2013.

[KG16] Kalb, T.; Göhringer, D.: Enabling dynamic and partial reconfiguration in Xilinx SDSoC. In: 2016 International Conference on ReConFigurable Computing and FPGAs (ReConFig). pp. 1–7, Nov 2016.

[Le16] Lee, M.; Hwang, K.; Park, J.; Choi, S.; Shin, S.; Sung, W.: FPGA-Based Low-Power Speech Recognition with Recurrent Neural Networks. In: 2016 IEEE International Workshop on Signal Processing Systems (SiPS). pp. 230–235, Oct 2016.

[LKM16] Logaras, E.; Koutsouradis, E.; Manolakos, E. S.: Python facilitates the rapid prototyping and hw/sw verification of processor centric SoCs for FPGAs. In: 2016 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS). pp. 1214–1217, May 2016.

[NL16] Nafkha, A.; Louet, Y.: Accurate measurement of power consumption overhead during FPGA dynamic partial reconfiguration. In: 2016 International Symposium on Wireless Communication Systems (ISWCS). pp. 586–591, Sept 2016.

[Nu16] Nurvitadhi, E.; Sim, Jaewoong; Sheffield, D.; Mishra, A.; Krishnan, S.; Marr, D.: Accelerating recurrent neural networks in analytics servers: Comparison of FPGA, CPU, GPU, and ASIC. In: 2016 26th International Conference on Field Programmable Logic and Applications (FPL). pp. 1–4, Aug 2016.

[Pe06] Peck, W.; Anderson, E.; Agron, J.; Stevens, J.; Baijot, F.; Andrews, D.: Hthreads: A Computational Model for Reconfigurable Devices. In: 2006 International Conference on Field Programmable Logic and Applications. pp. 1–4, Aug 2006.

[PK15] Prince, A. A.; Kartha, V.: A framework for remote and adaptive partial reconfiguration of SoC based data acquisition systems under Linux. In: 2015 10th International Symposium on Reconfigurable Communication-centric Systems-on-Chip (ReCoSoC). pp. 1–5, June 2015.

[Pu14] Putnam, Andrew; Caulfield, Adrian M.; Chung, Eric S.; Chiou, Derek; Constantinides, Kypros; Demme, John; Esmaeilzadeh, Hadi; Fowers, Jeremy; Gopal, Gopi Prashanth; Gray, Jan; Haselman, Michael; Hauck, Scott; Heil, Stephen; Hormati, Amir; Kim, Joo-Young; Lanka, Sitaram; Larus, James; Peterson, Eric; Pope, Simon; Smith, Aaron; Thong, Jason; Xiao, Phillip Yi; Burger, Doug: A Reconfigurable Fabric for Accelerating Large-scale Datacenter Services. In: Proceeding of the 41st Annual International Symposium on Computer Architecuture. ISCA '14, IEEE Press, Piscataway, NJ, USA, pp. 13–24, 2014.

[Ri16a] Rihani, M. A.; Nouvel, F.; Prévotet, J. C.; Mroue, M.; Lorandel, J.; Mohanna, Y.: Dynamic and partial reconfiguration power consumption runtime measurements analysis for ZYNQ SoC devices. In: 2016 International Symposium on Wireless Communication Systems (ISWCS). pp. 592–596, Sept 2016.

[Ri16b] Rihani, M. A.; Prévotet, J. C.; Nouvel, F.; Mroue, M.; Mohanna, Y.: ARM-FPGA based platform for automated adaptive wireless communication systems using partial reconfiguration technique. In: 2016 Conference on Design and Architectures for Signal and Image Processing (DASIP). pp. 113–120, Oct 2016.

[SAK12] Sheffield, D.; Anderson, M.; Keutzer, K.: Automatic generation of application-specific accelerators for FPGAs from python loop nests. In: 22nd International Conference on Field Programmable Logic and Applications (FPL). pp. 567–570, Aug 2012.

[Ta16] Taylor, A.: Adam Taylor's MicroZed Chronicles Part 156: Pynq Hardware Overlays. 2016. https://forums.xilinx.com/t5/Xcell-Daily-Blog/A dam-Taylor-s-MicroZed-Chronicles-Part-156-Pynq-Hardware/ba-p/732835, [Online; accessed 2017-04-03].

[Xi16] Xilinx, Inc.: PYNQ: PYTHON PRODUCTIVITY FOR ZYNQ. 2016. https://www.pynq.io, [Online; accessed 2017-04-03].

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 493

Modellierung anwendungsspezifischer Hardware und deren Einbettung in die DBT-basierte Prozessor-Verhaltenssimulation

Steffen Köhler[1] and Rainer G. Spallek[1]

Abstract: Zur High-Performance Simulation von Prozessorarchitekturen und deren Modellierung auf Befehlssatzebene kommen häufig Verfahren zur Anwendung, die den auszuführenden Zielcode mittels Dynamic Binary Translation (DBT) direkt auf den Prozessor des Simulationshosts abbilden. Während für Standardoperationen eine gute Abbildbarkeit des Befehlssatzmodells auf den Prozessor des Simulationshosts gegeben ist, lassen sich Modelle komplexer Spezialbefehle oder Peripherie nur ineffizient durch die Befehlssatzarchitektur des Simulationshosts nachbilden.
In unserem Beitrag stellen wir die Modellintegration und Co-Simulation dieser anwendungsspezifischen Komponenten auf Basis von FPGA-Technologie vor. Als Hardwareplatform anwendungsspezifischer Funktionalität fungiert dabei ein FPGA-Accelerator, der mittels PCIe-Schnittstelle an das von uns entwickelte RUBICS-Simulationsframework (Retargetable Universal Binary Instruction Conversion Simulator) angebunden wird. RUBICS stellt ein flexibles Werkzeug zur Modellierung und Evaluation kompletter, eingebetteter Prozessorarchitekturen (SoC) auf einem hohen Abstraktionsniveau (Befehlsebene, IO-Verhalten) basierend auf der ECMA CLR-Plattform dar. Ausgehend von einem in einer dedizierten Architekturbeschreibungssprache (ADL) vorliegenden ARMv7 Struktur- und Verhaltensmodell wird die exemplarische Modellierung eines FPGA-basierten FFT-Prozessors als anwendungsspezifisches Peripheriegerät der ARMv7-Architektur aufgezeigt und analysiert.

Keywords: Processor Simulation; Dynamic Binary Translation; FPGA Accelerator

1 Einleitung

Die Möglichkeit zur Simulation von eingebetteten Prozessorarchitekturen bildet einen wichtigen Grundstein für den erfolgreichen Entwurf von SoC-Architekturen. Dabei spielt vor allem die Analyse von Wechselwirkungen zwischen Prozessorkernen und peripheren Komponenten eine entscheidende Rolle. Die aktuell häufig vorliegende Komplexität von Hardware- und Softwarekomponenten erfordert eine Analyse des Gesamtsystems zu einem möglichst frühen Zeitpunkt des Entwurfsprozesses. Im Gegensatz zur Emulation, bei der nur das peripher beobachtbare Verhalten von Softwarekomponenten einer Zielarchitektur von Interesse ist, ermöglicht die Simulation das Inspizieren des gesamten Modellzustandes. Zu den Anforderungen an einen geeigneten Simulator gehören vor allem eine einfache Architekturmodellierung auf einem hohen Abstraktionsniveau (Befehlssatz, Befehlsverhalten,

[1] Technische Universität Dresden, Institut für Technische Informatik, 01062 Dresden, Germany
{steffen.koehler,rainer.spallek}@tu-dresden.de

doi:10.18420/in2017_45

IO-Verhalten), eine detaillierte Beobachtbarkeit der internen Abläufe (Register, Datenpfade) sowie eine hohe Simulationsperformance.
Neben der Anwendung in der Anfangsphase des Entwurfsprozesses kann die Simulation darüber hinaus auch bei bereits produzierten Prozessoren genutzt werden, indem die Ausführung einer Softwarekomponente im simulierten und physischen Prozessor protokolliert (Trace) und miteinander verglichen wird.
Zur Simulation einer Prozessorarchitektur wird eine Modellbeschreibung benötigt, nach welcher der Simulator die Befehle der zu simulierenden Softwarekomponente der Zielarchitektur auf den Simulationshost abbilden und dort abarbeiten kann. Die Qualität der Übersetzung auf die Befehlssatzarchitektur des Simulationshosts bestimmt dabei maßgeblich die Simulationsperformance. Eine vielfach verwendete Methode zur schnellen Prozessorsimulation auf Verhaltensebene ist die Binary Translation unter Verwendung eines Just-In-Time-Compilers (JIT), welcher Befehlssequenzen der Zielarchitektur zur Laufzeit auf den Simulationshost abbildet, optimiert und ausführt.
Verschiedene Ansätze JIT-basierter Simulatoren und Emulatoren nutzen dabei verbreitete Laufzeitumgebungen, wie beispielsweise Java [Kau+11], Common Language Runtime (CLR) [Wri14] oder PyPy [LIB15], aber auch dedizierte Compiler wie Tiny Code Generator [Bel16]. Die erreichbare Qualität der Befehlsabbildung des simulierten Prozessormodells auf den Prozessor des Simulationshosts hängt dabei entscheidend vom Grad der Ähnlichkeit beider Architekturen ab. Neben der Befehlsabbildung ist auch die Modellabbildung von Prozessorperipherie von diesem Problem betroffen. Beide Teilprobleme lassen sich effizient nur durch Bereitstellung einer flexibleren Abbildungsplattform auf dem Simulationshost lösen. Ein möglicher Ansatz ist dabei die Integration von FPGA-Hardware, verbunden mit einer Partitionierung des Simulationsmodells.
Die günstigsten Voraussetzungen im Bezug auf einfache Modellierbarkeit und Erweiterbarkeit bietet dabei das Simulationsframework RUBICS [Koe+16]. Sowohl die Verfügbarkeit einer dedizierten Architekturbeschreibungssprache (ADL) als auch die Erweiterungsmöglichkeiten der verwendeten CLR-Plattform mittels dynamischer Laufzeitbibliotheken (DLL) erleichtern die Einbindung von FPGA-basierten Modellpartitionen in den Simulationsprozess.

2 Simulationsplattfrom

Die Basisplattform zur Untersuchung der Integration anwendungsspezifischer Hardware in die High-Performance Prozessor-Verhaltenssimulation bildet das bereits erwähnte RUBICS-Simulationsframework. Dieses stellt sowohl Beschreibungsmittel zur Struktur- und Verhaltensmodellierung in Form einer Architekturbeschreibungssprache (ADL), als auch Kommunikationsschnittstellen zur Einbindung externer Kern- und Peripheriemodelle sowie die Steuerung des Simulationsablaufes sowie Test- und Debug-Funktionalität bereit. Das Framework ist modular aufgebaut und besteht aus einer Kernkomponente, die durch dynamische Bibliotheken nahezu beliebig erweiterbar ist. Einzige Bedingung ist dabei die Unterstützung durch die im ECMA-335 Standard beschriebene Common Language

Runtime (CLR) [ECM06]. Neben der Verhaltensbeschreibung mittels einer durch die CLR unterstützten Sprache (z.B. C#) ist darüber hinaus auch ein direkter Zugriff auf native Systembibliotheken und damit auf nahezu alle relevanten Systemressourcen möglich. Dies erleichtert die Einbindung anwendungsspezifischer Hardware in den Simulationsprozess erheblich. Die CLR stellt die Basis des gesamten Frameworks dar und fungiert über den Umweg der Zwischendarstellung im CIL-Bytecode (Common Intermediate Language) auch als Backend für die Binary Translation. Die prinzipielle Struktur des RUBICS-Simulationsframeworks ist in Abbildung 1 dargestellt.

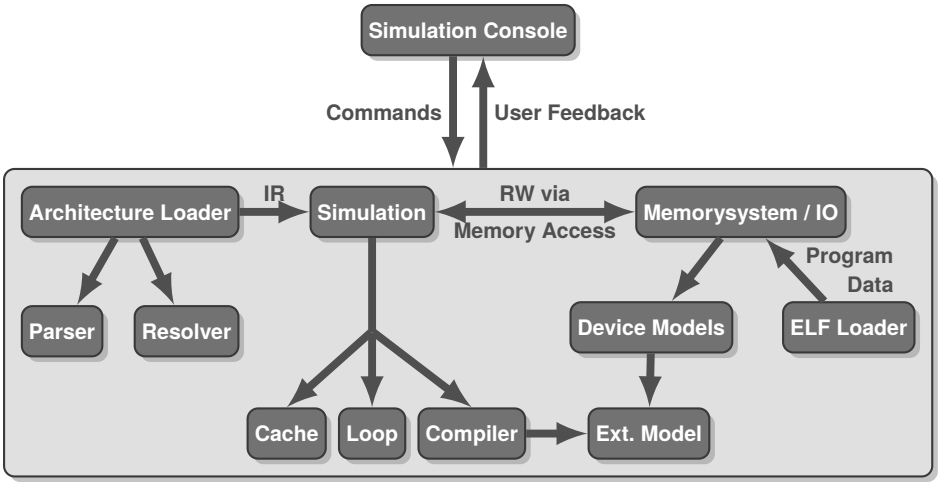


Abb. 1: Übersicht der Simulatorkomponenten

Zur Integration von FPGA-Hardware mit dem Ziel einer Steigerung der Simulationsperformance anwendungsspezifischer Modellkomponenten bietet die Simulationsumgebung in Anlehnung an die Erfordernisse das Prozessormodells folgende Möglichkeiten:

- Lose Kopplung durch generischen Bus-Schnittstelle für Peripherie- und Co-Prozessormodelle
- Enge Kopplung durch Plugin-Schnittstelle zur ADL-Modellinstrumentierung als Teil der Verhaltensbeschreibung

Obwohl sich beide Varianten prinzipiell für eine FPGA-Kopplung eignen, wurde die Plugin-Variante nicht näher untersucht. Als Hauptgrund für diese Herangehensweise muss die im praktischen Einsatz nicht zu vermeidende Kommunikationslatenz zwischen Simulationshost und FPGA unter Anwendung einer PCIe Schnittstelle angeführt werden.

3 Architekturmodellierung

Bereits in [Kau+11] wurde für die Verhaltensmodellierung von Prozessorarchitekturen eine Architekturbeschreibungssprache (ADL) vorgeschlagen. Dieses Konzept bietet gegenüber der Modellierung in einer Programmier- oder Hardware-Beschreibungssprache den Vorteil, dass der grundlegend identische strukturelle Grundaufbau einer jeden Prozessorarchitektur bereits vorgegeben wird. Die Modellierung beschränkt sich damit auf Prozessorzustand, Befehlssatz, Befehlsverhalten und Peripherieverhalten.
Die Architekturbeschreibung besteht dabei aus folgenden Elementen:

- `import <id>` Ausdrücke, welche externe Modelle wie Busgeräte (Devices) und Plugins importieren,
- `bus <id> {}` Schnittstellen für Speicher und Memory-Mapped Peripherie,
- `plugins {}` Plugin Schnittstellen für die Modellinstrumentierung,
- `context {}`, in welche der Maschinenkontext mit Hilfe von getypten Variablen deklariert wird,
- `decoder {}`, in welcher das Dekoderverhalten mittels Operationen definiert wird,
- `behavior {}`, in welcher der Verhaltensteil der dekodierten Befehle mittels Operationen definiert wird,
- `interrupts {}`, in welcher die Operationen definiert werden, die durch Interrupts initiiert werden.

In Abbildung 2 ist ein einfaches Architekturmodell mit sowohl eng und lose gekoppelter FPGA-Hardware beispielhaft dargestellt. Das Befehlsverhalten beschränkt sich auf die Inkrementierung des Befehlszählers und den Aufruf der Plugin-Funktion `ExecFunc()`.
Die Beschreibung beinhaltet sowohl Struktur als auch Verhalten der Zielarchitektur. Nach der Deklaration eines Speicherbusses `mem` mit eingebundenem FPGA-Gerätemodell `fpga_dev` können die unter `access` definierten Zugriffsarten in der weiteren Architekturbeschreibung genutzt werden, so zum Beispiel der Ausdruck `mem.byte[<address>]`. Die Angabe `unit` spezifiziert dabei die kleinste adressierbare Datenwortbreite des Speichers. Über die `fetch`-Umgebung wird festgelegt, von welchem Speicherbus (`mem`) und an welcher Adresse (`pc`) der nächste Befehl zu holen ist. Die Dekoderbeschreibung kann optional einen eigenen `context` enthalten, der die Modellierung komplexer Befehlssätze erleichtert.
Die ADL stellt die Standarddatentypen der CLR für Dekoder- und Verhaltensmodellierung zur Verfügung. Typekonvertierungen werden, falls diese eindeutig sind, automatisch durchgeführt. Zusatzfunktionen erlauben darüber hinaus eine manuelle Typkonvertierung sowie verschiedene Bit-Level- und Gleitkommaoperationen. Auf eine Typisierung von Festkomma-Literalen wurde bewusst verzichtet, da diese mittels Bereichsüberprüfung direkt in jeden geforderten Festkomma-Zieltyp konvertiert werden können.

Die Architekturbeschreibung wird nach dem Laden und Auflösen der Ausdrücke in eine interne Darstellung Intermediate Representation (IR) überführt, welche die Basis für den Simulationsablauf sowie die JIT-Compilierung darstellt.

```
1  bus mem {
2      unit = 8;
3      endian = LITTLE;
4      access {
5          byte = 1;
6          short = 2;
7          word = 4;
8      }
9      devices {
10         ram mem {
11             base = 0;
12             size = 0x40000000;
13         }
14         fpga fpga_dev {
15             base = 0x40000000;
16             size = 0x10000000;
17         }
18     }
19 }
20 plugins {
21     plugin.fpga fpga_plug;
22 }
23 context {
24     uint pc;
25 }
26 decoder {
27     fetch {
28         bus = mem;
29         pc;
30     }
31     context {
32         uint instruction_word;
33     }
34     operation oper {
35         instruction_word = fetch.word;
36         IPC;
37     }
38 }
39 behavior {
40     operation IPC {
41         fpga_plug.ExecFunc();
42         pc += 4;
43     }
```

Abb. 2: Architekturmodellierung mittels ADL

4 Simulationsablauf und Binary Translation

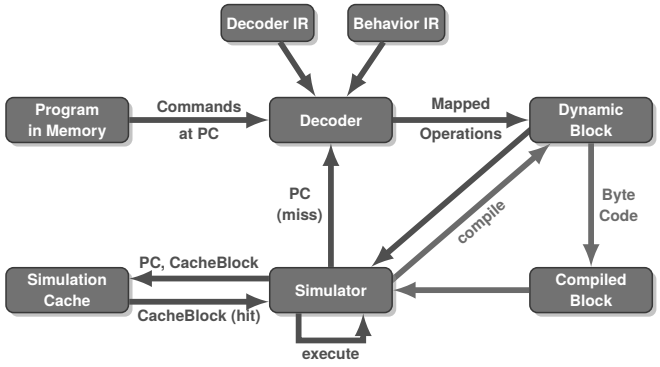


Abb. 3: Prinzipieller Simulationsablauf

Nachdem die Zielarchitektur sowie das zu simulierende Programm geladen und der Program Counter (PC) gesetzt sind, kann die Simulation gestartet werden. Mithilfe der aus der Architekturbeschreibung erstellten IR kann das Zielprogramm dekodiert und solange ausgeführt werden, bis der Wert des PC eine Abbruchbedingung (gesetzter Breakpoint) erreicht hat. Der schematische Ablauf der Simulation wird in Abbildung 3 gezeigt.

Der Ausführung des Befehlsverhaltens muss eine blockweise Dekodierung der auszuführenden Befehlssequenz vorausgehen, da der Simulationscache zunächst noch keine gültigen Einträge aufweist (Cache-Miss). Im weiteren Simulationsverlauf können dekodierte Befehlssequenzen bei einem Cache-Hit wiederverwendet und redundante Dekodieroperationen vermieden werden. Die Größe der dekodierten Befehlsblöcke (Dynamic Block) richtet sich nach der Länge des linearen Kontrollflusses im Zielcode. Ein Verlassen des linearen Kontrollflusses wird durch das Schlüsselwort `exit` in der Architekturbeschreibung beschrieben (Ende des Basisblocks).
Der Prozess der Binary Translaten erstellt in einem ersten Schritt eine Sequenz befehlsspezifischer Kopien der Verhaltensbeschreibung, welche anschließend einem mehrstufigen Optimierungsprozess zugeführt wird. Dies hat sich als vorteilhaft herausgestellt, da die CLR redundante Operationen sowie Mehrfachzugriffe auf Variablen nicht ausreichend optimieren kann. Die Amortisation des Zusatzaufwands führt lediglich bei sehr kurzen Simulationsläufen zu einem signifikanten Mehraufwand. Der direkten Übersetzung des Architekturverhaltens werden zusätzlich Schnittestellenaufrufe zu nativen Modellkomponenten hinzugefügt, welche direkt als CLR-Komponente eingebunden werden. Ein Lookup-basierter Memory-Delegator stellt Funktionen für eine effiziente Abbildung von Speicheradressen auf Peripheriemodellinstanzen bereit. Speicherblöcke des Zielsystemmodells werden unter Verwendung von Betriebssystemfunktionen direkt auf den virtuellen Adressraum des Simulationshosts abgebildet.
Im Verlauf der Simulation werden die dekodierten Basisblöcke zunächst interpretierend ausgeführt und nach Erreichen einer festgelegten Compile-Schwelle durch transformierten Bytecode der CLR ersetzt (Hot-Spot-Technik). Die weitere Umsetzung in native Instruktionen der Host-Architektur wird vom JIT-Compiler der CLR automatisiert durchgeführt.

5 Anwendungsspezifische Hardware

Neben der Beschreibung des Architekturmodells mittels ADL werden für die vollständige Nachbildung des Prozessorverhaltens entsprechende Peripherie- und Pluginmodelle benötigt. Eine einfache Integration in den Simulationsprozess ist dabei durch die Nutzungsmöglichkeit einer durch die CLR unterstützten Programmiersprache (C#, VB) gegeben. In Abhängigkeit des Kommunikationsverhaltens zwischen den einzelnen Modellkomponenten ist eine Abbildung von Peripherie- und Pluginmodellen oder deren Teilkomponenten auf FPGA-Hardware zur Simulationsbeschleunigung möglich. Voraussetzung ist eine Modellpartitionierung mit dem Ziel einer synthesefähigen Hardwarespezifikation der betreffenden Partition. Da die FPGA-Hardware nur mittels einer verfügbaren Schnittstelle in den Simulationshost integriert werden kann, ist die Auswahl der Partitionierung an die der verfügbaren Ressourcen zur Inter-Partitionskommunikation anzupassen. Für die überwiegende Mehrzahl relaventer Host-Plattformen kann externe FPGA-Hardware auf einfache Weise nur mittels PCIe-Schnittstelle genutzt werden, woduch eine effiziente Inter-Partitionskommunikation nur auf Basis eines Streaming-Ansatzes möglich ist.

Abbildung 4 zeigt die prinzipielle Einbettung von anwendungsspezifischen Modellen in den Simulationsprozess auf der Basis von FPGA-Hardware.

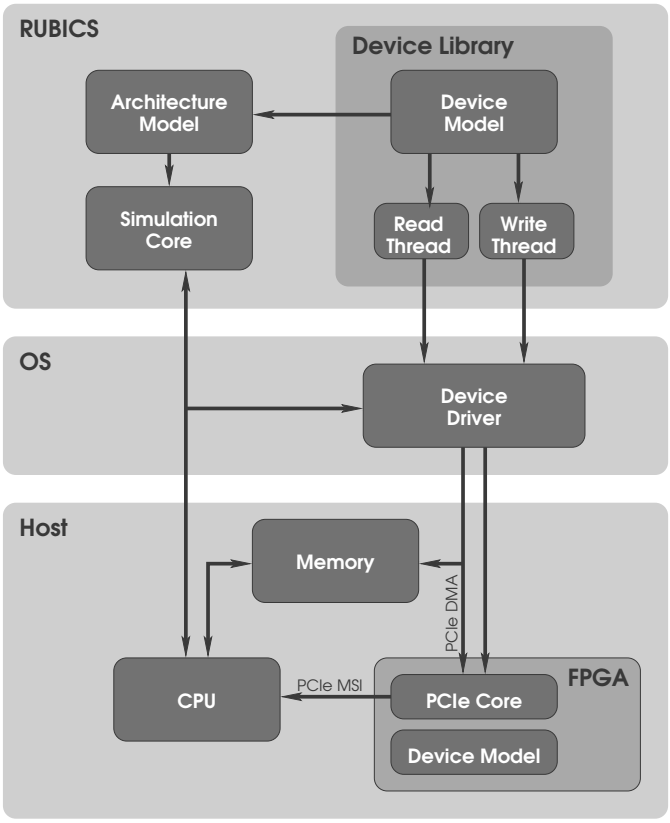
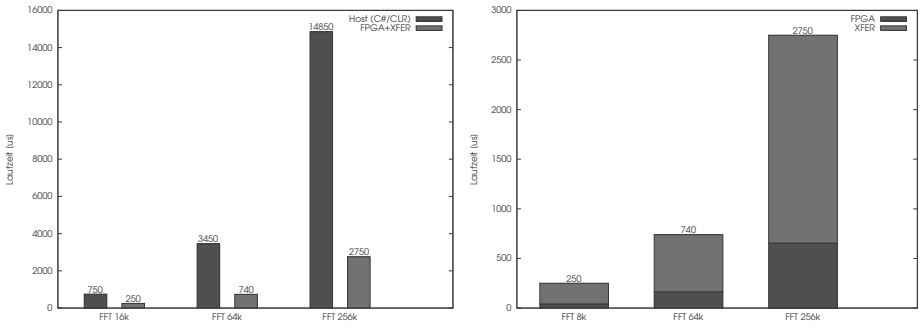


Abb. 4: Simulationsumgebung mit FPGA-Hardware

6 Leistungsbewertung

Zur Evaluation der Simulationsperformance von anwendungsspezifischer Hardwaremodellen auf Basis von FPGA-Hardware kam ein Hostssystem mit Intel Core-i5 6500 (SkyLake) und 16GB DDR4-Speicher zum Einsatz. Dieses wurde durch ein über vier PCIe-Lanes gekoppeltes FPGA-Board vom Typ Terasic DE5-Net (Altera/Intel Stratix V FPGA) [Ter17] ergänzt. Die Systemumgebung bildete Debian Linux/Kernel v4.10.1. Alle Performance-Messungen wurden mit einem ARMv7 Thumb2-Befehlssatzmodell [ARM10] unter RUBICS v0.5 und Mono CLR v4.8 durchgeführt. Als Benchmark fungierte ein exemplarisches, anwendungsspezifisches Decimation-In-Frequency FFT-Modell [Coo65] mit drei verschiedenen Blocklängen, welches sowohl als C#-Implementierung direkt in der CLR-Umgebung als auch auf dem gekoppelten FPGA simuliert wurde. Die Beschreibung der FPGA-Partition

erfolgte sowohl in Verilog HDL (RTL) als auch strukturell automatisiert durch das Generatortool QSys der Entwurfssoftware Quartus Prime v15.1. Die Kopplung zwischen FPGA und Host übernahme ein XILLYBUS PCIe-Streaming-Controller IP-Core [Xil17] inklusive Linux Kernel-Treiber. Obwohl das vorgegebene Optimierungsziel performanceorientiert war, konnte die mögliche FFT-Pipeline-Tiefe bedingt durch die vom XILLYBUS-Core vorgegebene Streaming-Taktfrequenz von 250MHz nicht komplett genutzt werden.
Abbildung 5 veranschaulicht die erreichten Simulationslaufzeiten mit und ohne FPGA unter Verwendung verschiedener FFT-Blockgrößen sowie die Aufteilung in Rechen- und Transferzeit. Die gemessenen Zeiten stellen Mittelwerte über 1000 FFT-Durchläufe dar, um Messungenauigkeiten aufgrund von JIT-Amortisationseffekten vorzubeugen. Der erreichte Beschleunigungsfaktor unter Berücksictigung des Transfer-Overheads liegt dabei zwischen 3 (FFT 16k) und 5,4 (FFT 256k).



(a) Host vs. FPGA (b) FPGA vs. Datentransfer

Abb. 5: Simulationslaufzeit in Abhängigkeit der FFT-Blocklänge

7 Zusammenfassung und Ausblick

In unserem Beitrag konnte wir Möglichkeiten der Modellintegration anwendungsspezifischer Hardware in des RUBICS-Simulationsframework und deren beschleunigte Simulation durch den Einsatz eines FPGAs im Simulationshost aufzeigen. Diese Heransgehensweise ist insbesondere sinnvoll für komplexe Verhaltensmodelle peripherer Komponenten in Prozessor-basierten SoC. Weiterhin wurde die Unterstützung externer Modelle durch die verwendete Architekturbeschreibungssprache (ADL) vorgestellt, die eine flexible Kommunikationsschnittstellen für eng (Plugins) und lose (Peripherie) gekoppelte anwendungsspezifischer Hardware bereitstellt. Im Rahmen der durchgeführten Untersuchungen konnte die Möglichkeit einer Simulationsbeschleunigung durch die Migration einer anwendungsspezifischen Modellpartition (FFT) auf einen im Simulationshost integrierten und über PCEe gekoppelten FPGA gezeigt werden. Der erreichbare Laufzeitvorteil ist dabei umso größer, je größer der Berechnungsvorteil des FPGA gegenüber dem Host-Prozessor und je kleiner der Transfer-Overhead ist. Das gewählte Beispiel der FFT erfüllt diese Voraussetzung nur

bedingt, sodass der einzielte Performance-Gewinn relativ niedrig ausfällt. Dies ist vor allem auf die hohe Kommunikationslatenz des auf Datendurchsatz optimierten XILLYBUS IP-Cores zurückzuführen. Die Erstellung entsprechender Partitionierungsvorgaben erscheint daher sinnvoll und notwendig. Ebenso wäre die Untersuchung eines auf geringe Kommunikationslatenz ausgerichteten PCIe-Core von Interesse, um eine enge Modellkopplung effizient realisieren zu können.

Literaturverzeichnis

[ARM10] ARM Ltd. ARMv7-M Architecture Reference Manual. ARM DDI 0403D, ID021310, 2010. http://www.arm.com

[Bel16] Fabrice Bellard. Tiny Code Generator (TCG README), 2016. http://wiki.qemu.org/Documentation/TCG/.

[Coo65] J. W. Cooley, J. W. Tukey. An algorithm for the machine calculation of complex Fourier series. *Mathematics of Computation*, April 1965.

[ECM06] ECMA International. *ECMA-335: Common Language Infrastructure (CLI)*. Fourth edition, 2006.

[Kau+11] M. Kaufmann, M. Häsing, T. Preußer, and R. G. Spallek. The Java Virtual Machine in Retargetable, High-performance Instruction Set Simulation. In *Proc. 9th Int'l Conf. Principles and Practice of Programming in Java (PPPJ '11)*. ACM, 2011.

[Koe+16] S. Köhler, T. Frank, M. Häsing, and R. G. Spallek. RUBICS: Ein retargierbares Framework zur Modellierung von Prozessorarchitekturen auf der Basis von .NET CLR. In *Proc. Dresdner Arbeitstagung Schaltungs- und Systementwurf (DASS 2016)*. Fraunhofer Verlag, 2016.

[LIB15] D. Lockhart, B. Ilbeyi, and C. Batten. Pydgin: generating fast instruction set simulators from simple architecture descriptions with meta-tracing JIT compilers. In *IEEE Int'l. Symp. Performance Analysis of Systems and Software (ISPASS)*, March 2015.

[Ter17] Terasic Inc. DE5-Net User Manual V1.04. March 21. 2017. http://www.terasic.com.tw

[Wri14] Patrick Andrew Wright. Dynamic Binary Translation on the .NET Platform. Master's thesis, 2014.

[Xil17] Xillybus Ltd. An FPGA IP core for easy DMA over PCIe, Haifa, Israel, 2017. http://xillybus.com

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 503

Hardwaregestützte Positionsschätzung mit Bayes'schen Filtern auf Basis 3-dimensionaler Umgebungsmodelle für den Innenbereich

Christian Schott, Daniel Froß, Marko Rößler und Ulrich Heinkel[1]

Abstract: Die Lage und Position von mobilen Geräten spielt eine zunehmend wichtigere Rolle bei Anwendungen die sowohl im Konsumbereich als auch in Produktion und Logistik liegen. Im Außenbereich bilden globale Positionierungssysteme auf Basis geostationärer Satelliten die Datengrundlage, welche durch weitere Sensorik verfeinert wird. Im Innen- und Nahbereich sind Signallaufzeitmessungen von Radio- oder Radarwellen mit nachgelagerter Triangulation eine wesentliche Grundlage für eine grobe Positionierung und Stand der Technik. Aufgrund der gegebenen Unsicherheit dieser Messverfahren bedarf es robuster Auswertealgorithmen für eine zuverlässige Positionierung, beispielsweise mittels Bayes'scher Filter. Der vorliegende Beitrag befasst sich mit der Erweiterung einer hardware-orientierten Umsetzung eines Partikelfilters, die es erlaubt apriori bekanntes Wissen aus einem 3-dimensionalen Umgebungsmodell mit den Entfernungsmessdaten in Echtzeit zu fusionieren. Vorgestellt wird eine Hardware/Software-Systemarchitektur für einen effektiven Zugriff auf die Modelldaten sowie deren Auswertung innerhalb einer Pipeline-Struktur des Partikelfilters auf Register-Transfer-Ebene. Die prototypenhafte Implementierung erfolgte für einen FPGA-Schaltkreis der ZYNQ-Familie.

Keywords: FPGA, Partikelfilter, 3D-Umgebungsmodell, Indoor-Lokalisierung

1 Einleitung

Standort- und Lageinformationen spielen im Zusammenhang mit drahtlosen mobilen Geräten und Sensoren eine zunehmend wichtige Rolle. Vielfältige praktische Anwendungen benötigen heute Positionsinformationen und Sensordaten bekommen erst im Zusammenhang mit dem Ort der Erhebung einen auswertbaren Kontext. Im Allgemeinen werden zur Lokalisierung im globalen Kontext spezifische Hardwarekomponenten, z.B. GPS-Empfänger, zur Auswertung von Signal-Laufzeitinformationen zu geostationären Satelliten eingesetzt. Deren Verwendung ist weitgehend auf den Außenbereich beschränkt und die Qualität sinkt in bebauten innerstädtischen Bereichen. Um diese Beschränkung aufzuheben bedarf es weiterer Ansätze.

Zum einen lassen sich Radiosignale von funkbasierten Kommunikationssystemen in ähnlicher Weise zur Informationsgewinnung in Form von Messdaten mit Bezug zur Position

[1] alle: Technische Universität Chemnitz, Fakultät für Informations- und Elekrotechnik, Professur Schaltkreis- und Systementwurf, Reichenhainer Straße 70, 09126 Chemnitz, Deutschland, {*christian.schott*, *daniel.fross*, *marko.roessler*, *ulrich.heinkel*} @etit.tu-chemnitz.de

doi:10.18420/in2017_46

nutzen. Dies gilt sowohl für zellulare Mobilfunktechniken als auch für nicht-zellulare Fern- und Nahbereichsnetze. Grundlage sind dabei Signalstärke-, Laufzeit- oder Winkelmessungen der hochfrequenten Funksignale zwischen kommunizierenden Teilnehmern und stationären Referenzpunkten. Sensoren auf Basis von Optik, Radar oder Schall lassen sich ebenso zur Distanzmessung zu Referenzpunkten mit spezifischen Vor- und Nachteilen einsetzen [Ma12]. Zum anderen helfen bei der Positionierung Informationen die direkt aus bekanntem Wissen über die Eigenschaften des zu lokalisierenden Objektes und dessen Umgebung abgeleitet werden können. Denkbar sind hier Bewegungsmuster oder Raum- und Kartendaten, die zur Modellierung genutzt und schließlich mit den Messdaten fusioniert in einer Position bzw. Lokalisierung resultieren.

Aufgrund der gegebenen Unsicherheit der Messverfahren, die zum Beispiel durch Signalausbreitungseffekte begründet sind und der begrenzten Genauigkeit der erweiterten Datenquellen, bedarf es robuster Auswertealgorithmen zur Positionsermittlung. Eine verbreitete und allgemein anerkannte Methode den Systemzustand (hier Position oder Bewegung) auf Grundlage von unscharfen oder verrauschten Beobachtungen (hier Messungen) zu bestimmen, sind Bayes'sche Filter, bei denen sowohl der Zustand als auch die Beobachtungen als Funktion der Wahrscheinlichkeit abgebildet werden.

Kalman Filter sind eine effiziente und populäre Implementierung des Bayes'schen Filter Algorithmus. Zustand und Beobachtung werden dabei als unimodale Gauß-Verteilung modelliert und das Filter-Update lässt sich in Form einer geschlossenen Aktualisierungsformel für den Mittelwert und die Kovarianzen abbilden. Nachteilig ist die damit einhergehende Einschränkung auf Gaußsche-Fehlerverteilungen und Systeme mit linearen Zustandsübergängen und Beobachtungsmodellen. Beliebige Verteilungen lassen sich mit einer anderen Implementierung des Bayes'schen Filters, den Partikelfiltern behandeln, bei dem zur näherungshaften Bestimmung des Systemzustandes ein Satz zufälliger Stichproben (Partikel) genutzt wird. Die Genauigkeit der Näherung ist dabei von einer größtmöglichen Anzahl von Partikeln abhängig. Der daraus resultierende Berechnungs- und Speicherbedarf ist erheblich und im Zusammenhang mit einer Echtzeitberechnung der Position von bewegten Objekten für eine Berechnung in eingebetteten Systemen oder Mikrocontrollern ungeeignet. In diesen Fällen ist es erforderlich die berechnungsintensiven Anteile in eine dedizierte Beschleunigungshardware zur parallelisierten Abarbeitung auszulagern. Eine grundlegende Partikelfilter-Implementierung als digitale Schaltung für einen FPGA wurde bereits in [Fr10] gezeigt.

Im vorliegenden Beitrag wird diese Hardware-Implementierung um ein 3-dimensionales Umgebungsmodell erweitert, auf dessen Basis die Schätzung der Position ergänzt und verbessert werden kann. Dabei wird unter Berücksichtigung von Belegtheitsinformationen der Systemzustand validiert und angepasst. Das Design wurde in VHDL auf RT-Ebene implementiert und auf ein Hardware/Software-System in Form der ZYNQ-Architektur abgebildet und synthetisiert. Die Implementierung ist über den AXI-Systembus an die Kontroll-Software innerhalb des FPGA-Schaltkreises angebunden.

Der Beitrag gliedert sich wie folgt. Nach einer kurzen Einführung in die generelle Struktur des Partikelfilter-Algorithmus in Abschnitt 2, wird im darauf folgenden Abschnitt 3 zunächst auf verschiedene 3-dimensionale Umgebungsmodelle eingegangen und letztlich gezeigt, wie diese in den Schätzprozess des Partikelfilters integriert werden können. Anschließend wird in Abschnitt 4 die eigentliche Erweiterung der bereits bestehenden Hardware-Implementierung im Detail vorgestellt. Abschnitt 5 erläutert die Testumgebung mit dem Referenzmodell, welche zur Evaluierung der Umsetzung erstellt wurde. Die Resultate der erweiterten Positionsschätzung sowie der Bedarf an FPGA Ressourcen werden dann in Abschnitt 6 dargestellt und diskutiert, gefolgt von einer kurzen abschließenden Zusammenfassung dieses Beitrags.

2 Partikelfilter zur Positionsschätzung

Partikelfilter stellen eine Implementierungsvariante von Bayes-Filtern dar, bei der die Aufenthaltswahrscheinlichkeit des zu lokalisierenden Objektes durch einen Satz von Zufallswerten, sog. Partikel, repräsentiert wird. Jedes Partikel entspricht dabei einer hypothetischen Position des Objektes. Je höher die Partikeldichte, desto höher die Aufenthaltswahrscheinlichkeit. Der Vorteil dieser Implementierungsvariante liegt in der Abbildbarkeit beliebiger, d.h. auch nicht Gauß-verteilter oder multimodaler Verteilungen. Dem gegenüber steht ein erhöhter Berechnungsaufwand, der sich jedoch durch Möglichkeiten der Hardware-Beschleunigung mittels FPGA oder DSP optimieren lässt. Detaillierte Betrachtungen zu Bayes-Filtern und den verschiedenen Implementierungsvarianten finden sich in [TBF05]. Für ein Filter-Update sind folgende Schritte auszuführen:

Zustandsvorhersage In diesem Schritt erfolgt die Vorhersage der neuen Partikelpositionen für den aktuell betrachteten Zeitpunkt unter Einsatz eines anwendungsspezifischen Bewegungsmodells. Dieses Modell beschreibt die angenommene Zufallsbewegung des zu ortenden Objektes. Ausgehend von der alten Position wird damit für jedes Partikel eine neue hypothetische Position errechnet, die im weiteren Filterverlauf unter Auswertung von Sensordaten validiert oder verworfen wird.
In der vorliegenden Implementierung wird eine ungerichtete Zufallsbewegung des zu ortenden Objektes angenommen, bei der sich die neue Partikelposition aus der alten ergibt, die für jede der drei Raumachsen X,Y und Z mit Zufallswerten aus drei voneinander unabhängigen Gleichverteilungen mit einstellbarem Wertebereich beaufschlagt wird.

Gewichtsberechnung Ausgehend von dem vorhergesagten Partikelsatz erfolgt in diesem Schritt die Berechnung eines Gewichts für jedes Partikel. Dieses Gewicht repräsentiert die Wahrscheinlichkeit, dass eine eingehende Messung zur vorhergesagten Partikelposition passt. Die Gewichtsberechnung erfolgt unter Verwendung eines sensorspezifischen Messmodells. In der vorliegenden Implementierung wird ein funkbasiertes Laufzeitmesssystem eingesetzt,

das Entfernungsinformationen zwischen einem zu ortenden Mobilknoten und mehreren ortsbekannten Infrastrukturknoten (Anker) liefert. Mindestens vier Ankerknoten sind für eine eindeutige Positionsbestimmung im 3-dimensionalen Raum nötig. Über Signallaufzeitmessungen HW-bestätigter Funknachrichten zwischen dem Mobil- und den Ankerknoten wird die jeweilige Entfernung zum Ankerknoten bestimmt. Das eingesetzte Messmodell berechnet für jedes Partikel dessen euklidische Distanz zum Ankerknoten und liefert ein Gewicht in Abhängigkeit der Differenz zwischen gemessener und erwarteter euklidischer Entfernung. Aufgrund des Mehrwegeempfangs der Funknachrichten und der begrenzten Auflösung des Messsystems treten positive Distanzfehler häufiger auf als negative. Dieser Umstand wird in der Berechnung durch eine stärkere Gewichtung längerer Messungen berücksichtigt.

Resampling Im letzten Schritt erfolgt ein Resampling des Partikelsatzes in Abhängigkeit der einzelnen Partikelgewichte. Dabei werden Partikel, deren Gewicht das durchschnittliche Gewicht aller Partikel übersteigt tendenziell vervielfältigt, während Partikel mit kleinerem Gewicht wegfallen. Auf diese Weise wird sichergestellt, dass sich im Laufe des Schätzprozesses die Partikel an den durch die Messung validierten Positionen konzentrieren. In der Implementierung wird ein sogenannter Low-Variance Resampler eingesetzt, der sich durch seine Ressourcen- und Laufzeiteffizienz auszeichnet.

Eine detaillierte Beschreibung der oben genannten Filterabläufe ist in [Fr10] zu finden.

3 Erweiterung des Partikelfilter durch Umgebungsmodell

In Abbildung 1 ist die hardware-orientierte Umsetzung des Partikelfilter in Form einer Pipeline gezeigt. Der *Zustand* eines Partikel ist durch die Werte X,Y und Z als Position im Raum gegeben. Im Block *Occupancy Check (OCC)* wird der Zustand eines Partikels gegen ein Umgebungsmodell geprüft und validiert. Die Form der Umgebungsmodellierung hat dabei wesentlichen Einfluss auf die Zugriffsgeschwindigkeit zu den Modelldaten und deren Umfang bzw. Größe. Traditionell wird zwischen geometrischen und wahrscheinlichkeitsbasierten Ansätzen unterschieden.

Beim geometrischen Ansatz werden die Modelldaten als *Belegtheitsinformation* interpretiert, die über geometrischen Koordinaten der von den Objekten im Raum belegten Bereiche in einer definierten Auflösung gespeichert werden. Die Daten liegen als Punktwolke (engl. *Point Cloud*) vor und können beispielsweise direkt über Laserscanner ermittelt werden. Entsprechende Modelle finden vor allem in der Robotertechnik bzw. Robotics Anwendung und spielen dort bei der (Selbst-)Lokalisierung oder dem Motion Planning des Roboters eine wichtige Rolle. Die Vorteile dieses Ansatzes liegen in der hohen Genauigkeit, die bei der Modellierung der Umgebung in Abhängigkeit der Sensorauflösung erreicht werden kann, sowie des direkten Zugriffs mittels geometrischer Koordinaten. Nachteilig ist der hohe Speicherbedarf, der sich proportional zur Anzahl zu speichernder Punkte ergibt.

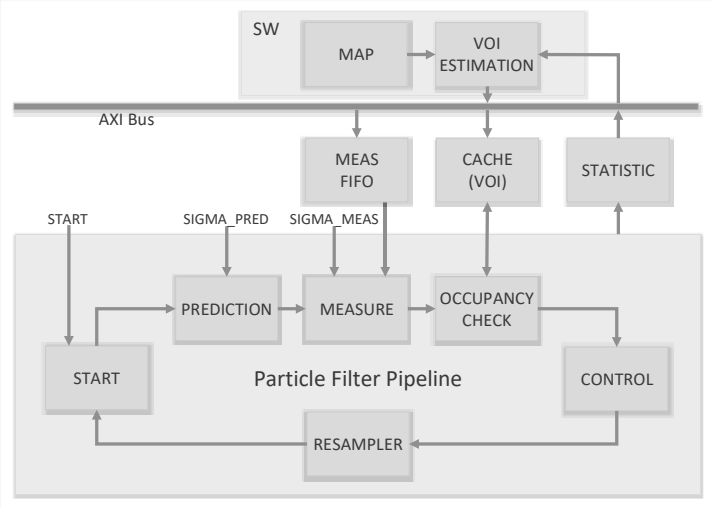


Abb. 1: Partikelfilter mit Anbindung an das Umgebungsmodell

Bei probabilistischen Ansätzen wird der Raum in Zellen unterteilt, denen die Wahrscheinlichkeit einer Belegung durch ein Objekt zugeordnet ist. Die sogenannten *Evidence* oder *Occupancy Grids* wurden in [ME85] für die 2-dimensionale Darstellung einer Umgebung vorgestellt und später in [RTJ89] und [MM94] für die dritte Dimension erweitert. Aufgrund der Rasterisierung des Raumes ist die Genauigkeit der Occupancy Grids im Vergleich zur Punktwolke geringer, dadurch wird jedoch eine verbesserte Speichereffizienz erreicht. Eine weitere Effizienzsteigerung wurde in [Me82] durch die Nutzung der *Octree* Datenstruktur vorgestellt. Dabei ist es möglich, Bereiche mit unterschiedlichen Auflösungen im gleichen Umgebungsmodell abzubilden. Die Nachteile dieses Ansatzes liegen in der höheren Komplexität des Zugriffsverfahrens, wodurch größere Zugriffszeiten, die zusätzlich nicht äquivalent bzw. vorhersagbar sind, zu erwarten sind.

Für die Integration der Belegtheitsprüfung in die hardware-orientierte Pipeline des Schätzprozesses ist ein schneller und konstanter Zugriff auf die Modelldaten entscheidend. Die zur Adressierung dieser Daten notwendigen Berechnungen bzw. Transformationen müssen daher für in Hardware günstig zu realisierende Vorschriften abgebildet werden. Der geometrische Ansatz nach dem Modell der Punktwolke erfüllt diese Anforderungen. Die damit verbundenen hohen Speicheranforderungen erlauben es allerdings kaum, ein vollständiges Umgebungsmodell im Block-RAM nahe der Pipeline mit direkten Zugriff vorzuhalten. Daher wird im Weiteren ein hierarchischer Ansatz auf Basis einer Hardware/Software-Systemarchitektur verfolgt und untersucht, bei dem die Modelldaten der kompletten Umgebung im Fest- oder Hauptspeicher einer Prozessorumgebung liegen und nur ein relevanter Teil davon, beispielsweise auch mittels Prozessierung in einem Rendering Prozess, durch Software extrahiert und einem Zwischenspeicher (Cache) der Partikelfilter-Pipeline

zugeführt wird. Dieser Ausschnitt entspricht der unmittelbaren Umgebung der geschätzten Position, in der sich die Partikel mit großer Wahrscheinlichkeit befinden. Dieser Ausschnitt wird im Weiteren *Volume of Interest (VOI)* genannt (vgl. Abbildung 1).

Wie bereits in Abschnitt 2 gesehen, lässt sich der Partikelfilter in die Phasen Zustandsvorhersage (engl. Prediction), Gewichtsberechnung (oder Measurement Update) und Resampling einteilen. Es stellt sich die Frage, in welcher Stufe der Pipeline es günstig ist die Modellprüfung zu integrieren und ein Partikel entsprechend dem Ergebnis der Prüfung zu beeinflussen. Nach dem Prediction-Schritt ist ein Partikel ausschließlich durch dessen Zustand, der Position im Raum, charakterisiert, womit die Prüfung gegen das Umgebungsmodell damit erfolgen kann. Liegt das Partikel in einem Objekt, könnte das Partikel in einen freien, also nicht durch ein Objekt belegten Ort verschoben werden. Dazu muss ein freier Bereich identifiziert bzw. gesucht und anhand einer zu definierenden Regel ausgewählt werden.

Alternativ könnte die Prüfung nach der Measurement-Stufe erfolgen. Neben dem Zustand ist jedes Partikel mit einem Gewicht gekennzeichnet, dessen Einfluss die gesamte Positionsschätzung repräsentiert. Bei negativer Modellprüfung kann das Gewicht entsprechend auf nahe Null reduziert werden. Im nachfolgenden Resampling Schritt werden alle Partikel mit (sehr) kleinem Gewicht aussortiert bzw. verworfen und tragen so nicht mehr zur Positionsschätzung bei. Die Gewichte der Partikel mit positiver Modellprüfung bleiben unberührt. Letztendlich werden sich die Partikel nur in freien Gebieten ansammeln und somit zur Erhöhung der Genauigkeit der Positionsschätzung beitragen. Diese Variante wurde für den vorliegenden Beitrag umgesetzt und im Block Occupancy Check in die Pipeline integriert.

4 Implementierung

Die Umsetzung des beschriebenen Ansatzes erfolgte auf einem Xilinx-FPGA der ZYNQ-Klasse, da hier bereits eine geeignete Plattform-Architektur aus programmierbarer Schaltkreisstruktur für die Hardware-Implementierung und dedizierten ARM-Prozessoren zur Realisierung einer Software-Umgebung integriert ist. Die Partikelfilter-Pipeline verfügt über eine AXI-Schnittstelle, an die die Busstruktur der Plattform angebunden ist. Eine entsprechende Register-Schnittstelle dient zur Steuerung der Pipeline. Ein- und Ausgabe erfolgt über Speicherschnittstellen, die als FIFO umgesetzt sind. Abbildung 1 zeigt den Occupancy Check, der über einen weiteren AXI-Port zur Speicherung und Auswahl des VOI verfügt.

Der in diesem Beitrag umgesetzte Partikelfilter erzeugt insgesamt 8192 Partikel, wobei jedes davon durch 14 Bit pro Dimension und somit durch einen insgesamt 42 Bit breiten Zustands-Vektor repräsentiert ist. Die Partikel befinden sich in einem kubischen Berechnungsraum mit maximal 16384 Längeneinheiten pro Dimension. Sie durchlaufen einzeln nacheinander die Pipeline-Stufen, so auch den in Abbildung 2 dargestellten Block zur Modellprüfung.

Das Extrahieren des VOI durch die Software und das anschließende Füllen des Block-RAM dauert länger als ein Zyklus des Partikelfilters. Die vorliegende Implementierung

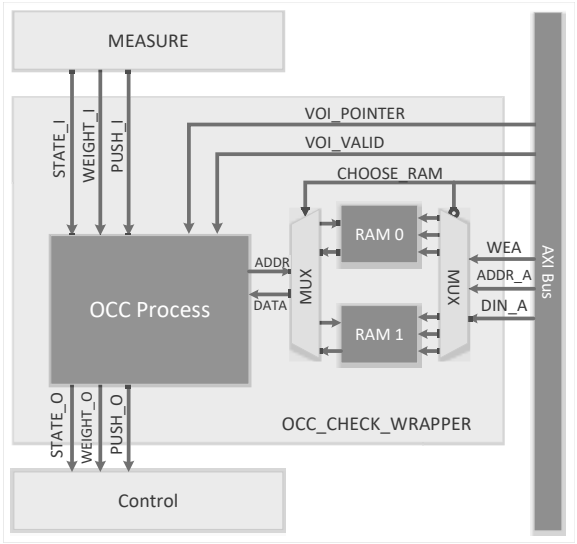


Abb. 2: Occupancy Check

sieht daher zwei VOI-Speicher vor, um das Laden des Speichers durch die Software und den Zugriff des OCC voneinander zu entkoppeln. So ist die Konsistenz der VOI-Informationen sicher gestellt und ein ununterbrochener Betrieb der Pipeline und damit die Echtzeitfähigkeit der Implementierung möglich. Über das Signal *CHOOSE_RAM* wird die entsprechende Instanz ausgewählt und das Adress- sowie Datensignal auf den gewünschten Block-RAM gemultiplext. Die Speicher sind als Dual Port RAM Instanzen innerhalb der programmierbaren Logik ausgeführt, wobei von Seiten des AXI Bus mit 128 Bit Datenbreite geschrieben und durch den OCC Daten mit 8 Bit gelesen werden. Die Größe der Speicher ergibt sich aus den Dimensionen des VOI und der Tiefe der Belegtheitsinformation im Modell. Wird die Belegung eines Punktes im Raum durch genau ein Bit (0 ... unbelegt, 1 ... belegt) repräsentiert, ergibt sich für ein Volumen von 128 x 128 x 128 Längeneinheiten^3 ein Speicherbedarf von 2048 kBit. Der Zugriff auf die Belegtheitsinformation für ein Partikel erfolgt über dessen Zustand, der eine Position im gesamten Berechnungsraum entspricht. Da das VOI nur einen Ausschnitt dieses Raumes darstellt und auf einem eindimensionalen Speicher abgelegt ist, bedarf es einer Berechnungsvorschrift für die Adressierung der Modelldaten.

Abbildung 3 zeigt die Abbildungsvorschrift beispielhaft. Zunächst muss für das Partikel der dazugehörige Punkt im VOI-Koordinatensystem bestimmt werden. Das Signal *VOI_POINTER* gibt die Lage des VOI im Berechnungsraum des Partikelfilter an und zeigt auf Punkt (0,0,0) des VOI-Kubus. Dieser Zeiger ist vom Zustand des Partikels in X, Y und Z Richtung abzuziehen. Für die Speicheradresse eines Byte teilen sich entsprechend 8 Punkte der X-Achse eine Adresse. Entsprechend werden die niederwertigen Bits der

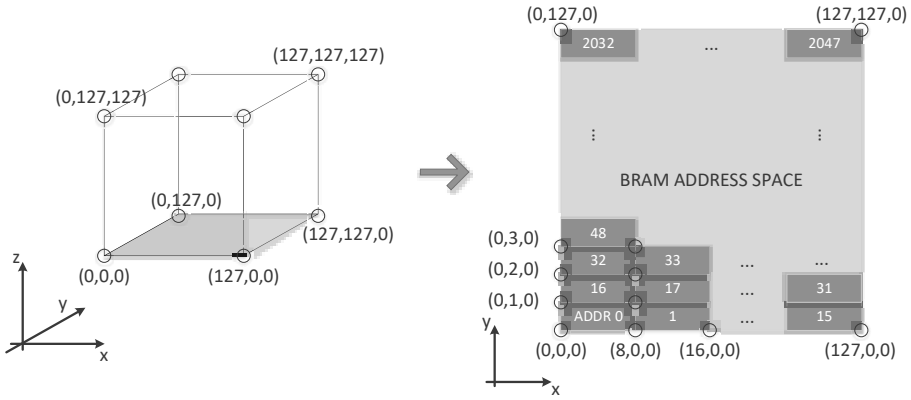


Abb. 3: Block-RAM Address Mapping

Adresse aus den um drei Bit nach rechts verschobenen X-Achsenwert bestimmt. Die Y und Z Achswerte im VOI-Koordinatensystem bilden als Offset den höherwertigen Teil der Adresse. Das Signal *VOI_POINTER* wird in Software nach dem Extrahieren des Kartenausschnitts gebildet und über den AXI Bus dem Schätzer zugeführt. Nach korrektem Schreiben der Belegtheitsinformationen in den Block-RAM, wird mittels *VOI_VALID* der Occupancy Check aktiviert.

Der Block *OCC Process* ist für die eigentliche Belegtheitsprüfung der Partikel zuständig und ist als Zustandsautomat mit zwei Zuständen realisiert. In Zustand 1 wird die Position des anliegenden Partikels in die entsprechende Block-RAM Adresse umgewandelt und diese an den RAM angelegt. Da der RAM Zugriff einen Taktzyklus benötigt und mit jedem neuen Takt bereits das nächste Partikel am Eingang des OCC anliegen kann, wird das aktuelle Partikel sowie dessen Gewicht für den nächsten Zustand des Automaten in einem Register zwischengespeichert. Mit dem nächsten Partikel welches durch ein aktiv High von *PUSH_I* angezeigt wird, wechselt der Automat in Zustand 2. Erst hier wird geprüft, ob das zwischengespeicherte Partikel im VOI liegt, da nur für dieses die RAM Adresse und letztendlich die ausgelesene Belegtheitsinformation korrekt sind. Bei positiver Belegtheit wird das Gewicht des Partikels angepasst, wobei es ansonsten unverändert bleibt. Durch die Realisierung als Zustandsautomat wird ein durch den Occupancy Check entstehender konstanter Timing Overhead gewährleistet. Am Ende von Zustand 2 wird das Partikel und dessen ggf. neues Gewicht ausgegeben und an den *Control* Block zur Vorbereitung auf die Resampling Phase weitergeleitet.

5 High-Level Referenzmodell und Testumgebung

Zur Evaluation der unterschiedlichen Entwurfsmöglichkeiten und abschließenden Verifikation der Implementierung wurde ein Referenzmodell des Partikelfilters sowie eine synthetische Testumgebung in MATLAB erstellt. Deren Struktur ist in Abbildung 4 dargestellt. Sämtliche Berechnungen erfolgen hier in Fließkomma-Arithmetik, sodass die Auswirkungen der ungenaueren Festkomma-Arithmetik der Hardware-Implementierung festgestellt und bewertet werden können. Die Testumgebung erzeugt entsprechende Referenzpunkte als reale Position eines Objektes bzw. des Partikelfilter-Referenzmodells, sowie Messungen von Ankerpunkten zu diesen Referenzpunkten als Stimuli für die Hardware-Implementierung. Dabei werden die Messungen in einem zeitlichen Bezug zu einer synthetischen Simulationszeit erzeugt, sodass in diesem Zusammenhang auch der Zugriff auf das Funkmedium modelliert ist. Die Auswahl eines Ankerpunktes zu einem bestimmten Simulationszeitpunkt erfolgt iterativ und die Messungen werden mit einem entsprechenden Messfehler beaufschlagt. Die VHDL-Testbench liest die Stimuli auf Basis einer Textdatei ein und führt diese der RTL-Simulation der Hardware-Implementierung des Partikelfilters zu. Die Analyse der Simulationsergebnisse erfolgt post-simulativ in der MATLAB Testumgebung.

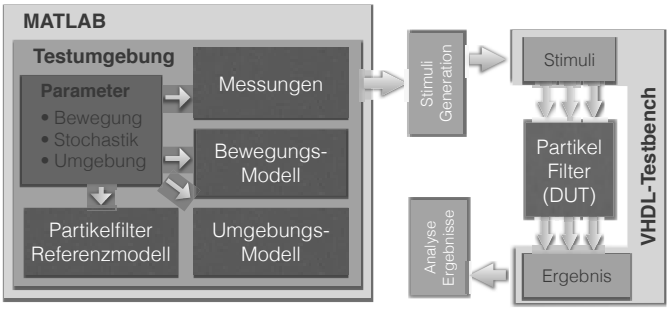
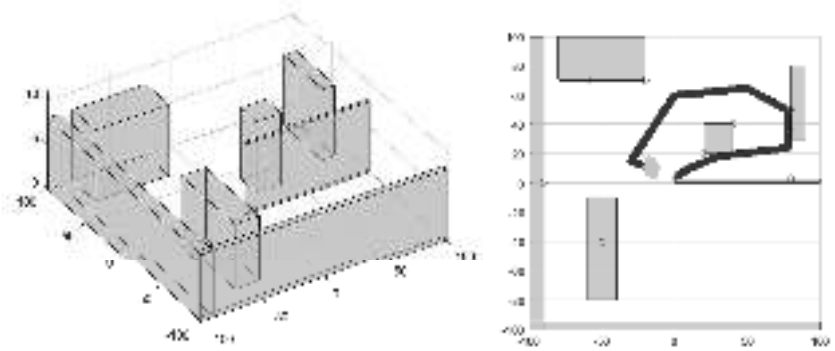


Abb. 4: Synthetische Test- und Verifikationsumgebung

Das Referenzmodell bildet auf Basis algorithmischer Verhaltensbeschreibung neben der in Abschnitt 2 beschriebenen Implementierung auch die VOI-basierte Umgebungsmodellprüfung sowie das Verhalten der Partikel an den Grenzen des Berechnungsraumes nach. Parametrierbar sind neben der Partikelanzahl auch die stochastischen Aspekte wie Wahrscheinlichkeitsverteilungen und Sigma-Werte. In der Testumgebung wurde ein Umgebungsmodell zur Nachbildung eines Untersuchungsraumes realisiert. Parametrierbar sind die Größe des Raumes, die Größe und Lage von quader- und kugelförmigen Objekten sowie die Anzahl und Lage von Anker- bzw. Referenzpunkten. Weiterhin erzeugt ein Bewegungsmodell eine synthetische Bewegung eines zu ortenden Objektes auf der Basis zu passierender Wegpunkte mit entsprechenden Geschwindigkeits- und Beschleunigungswerten. Abbildung 5 zeigt beispielhaft einen Umgebungsraum und eine Bewegung innerhalb der Objekte sowie vorhandene Anker.



(a) Raum mit Objekten

(b) Draufsicht mit Bewegung, Referenzpunkten und Partikelwolke

Abb. 5: Modellierung einer synthetischen Testumgebung

6 Ergebnisse

Zur Evaluierung der Integration des Umgebungsmodells in den Schätzprozess des Partikelfilters wurden verschiedene Testfälle entwickelt und zunächst im High-Level Referenzmodell geprüft. Ein Testfall wird dabei durch den bestimmten Bewegungsablauf eines Objektes charakterisiert. Das Referenzmodell erzeugt je nach Art der Bewegung Punkte, welche das simulierte Objekt durchschreitet. Anhand eines Messmodells werden fehlerhafte Messungen zur simulierten Position erzeugt und dem Partikelfilter zugeführt. In der Evaluierung wird dann die Wurzel des mittleren quadratischen Fehlers (engl. Root-Mean-Square-Error, RMSE) aus der tatsächlichen Position des Objektes mit der Vorhersage des Schätzers gebildet und entsprechend der Art der Bewegung für den Fall ohne Umgebungsinformationen mit dem Partikelfilter mit Belegtheitsprüfung verglichen. Die Auswertung des High-Level Modells zeigte bereits den positiven Einfluss des Umgebungsmodells durch eine Verringerung des Positionsfehlers. Da sich die Softwareanbindung noch in Entwicklung befindet, wurde zunächst der Testfall eines statischen Objektes in der Testbench der Hardware-Implementierung untersucht und dessen Resultate mit denen aus dem High-Level Modell verglichen. Hierbei ist die VOI zur Hälfte mit einem Objekt belegt. Tabelle 1 fasst diese zusammen, wobei hier exemplarisch Meter als Längeneinheit genommen wurde. Mit Belegtheitsinformationen

	High-Level Modell	Hardware Implementierung
ohne Umgebungsmodell	0,3892 m	0,3823 m
mit Umgebungsmodell	0,3045 m	0,2885 m
Differenz	-0,0847 m	-0,0938 m

Tab. 1: Vergleich des RMSE zwischen High-Level Modell und Hardware-Implementierung

konnte der Fehler der Positionsschätzung entsprechend verringert werden. Die Resultate sind für beide Modelle vergleichbar. In der Hardware-Implementierung ist die Genauigkeitsverbesserung sogar leicht größer als im High-Level Modell. Dies lässt sich mit der

unterschiedlichen Berechnung der Zufallszahlen in beiden Modellen und somit der vorhergesagten Position der Partikel im Prediction Schritt erklären. Die im High-Level Modell gewählten Parameter zur Zufallszahlen-Generierung lassen sich nicht eins-zu-eins für den Hardware Partikelfilter übertragen. Eine weitere Untersuchung dieses Verhalten, sowie ein Nachbilden der Hardware Zufallszahlen-Generierung im High-Level Modell ist Aufgabe zukünftiger Betrachtungen, ebenso wie das Testen unterschiedlicher Bewegungsmodelle sobald die Softwareanbindung fertig gestellt wurde.

Das Design wurde zunächst für den ZYNQ 7020 SoC, welcher auf dem Zedboard zu finden ist, als Ziel-Plattform synthetisiert. Da dessen Ressourcen für die Hardware-Implementierung mit Kartenanbindung nicht ausreichen, wurde letztendlich der ZYNQ 7045, der er u.a. im ZC706 Evaluation Kit von Xilinx Verwendung findet, zur Implementierung genutzt. In

ZYNQ 7045	LUT	LUTRAM	FlipFlops	BRAM	DSP
ohne Occ. Check	5255	114	8350	47,5	38
mit Occ. Check	5955	114	8695	175,5	38
verfügbar	218600	70400	437200	545	900

Tab. 2: Vergleich der Hardware Ressourcen für den ZYNQ 7045 SoC

Tabelle 2 wird der Ressourcenbedarf des ursprünglichen Partikelfilters mit dem der Erweiterung verglichen. Die Integration der Belegtheitsprüfung im Schätzprozess führten zu einem Anstieg der genutzten Look-Up-Tables (LUT) um rund 13,3 % und der FlipFlops um 4,13 %. Der größte Zuwachs ist jedoch durch das Vorhalten eines Teils des Umgebungsmodells im Block RAM des FPGA begründet und beträgt rund 269,5 %. Der Bedarf an zusätzlichen FlipFlop Ressourcen übersteigt die Kapazitäten des Zedboard-ZYNQ um 25,4 %, wodurch ein größerer SoC, hier der Xilinx ZYNQ 7045, gewählt wurde. Generell hängt die Größe des VOI vom Anwendungsfall und dessen entsprechende Anforderungen an eine bestimmte Auflösung des Umgebungsmodells ab. Die in diesem Beitrag gewählte Größe von 128 x 128 x 128 Längeneinheiten^3 wurde für eine Genauigkeit von 1 Zentimeter konzipiert, wodurch ein Kubus mit 1,28 m Kantenlänge abgebildet wird. Wenn auf das Punktwolkenmodell verzichtet werden kann und stattdessen ein Voxel-Grid genutzt wird, lässt sich bei gleichzeitiger Verringerung der Auflösung des Modells der Bedarf an Block RAM Ressourcen signifikant verringern. So ist es zum Beispiel möglich, ein VOI mit 6,40 m Kantenlänge und einer Auflösung von 10 Zentimeter in nur 256 kBit zu speichern. Im Vergleich zu vorher ist das nur ein Achtel an Speicherplatz. Diese Variante ließe sich problemlos mit dem ZYNQ des Zedboards realisieren. An diesem Vergleich ist die Ineffizienz des Punktwolkenmodells erkennbar, weshalb in weitergehenden Untersuchungen die Realisierung mittels anderer Umgebungsmodelle betrachtet werden soll.

Die Frequenz der Hardware-Implementierung wurde im Beispiel auf 50 MHz gesetzt. Ein Zyklus des Partikelfilter benötigt 16485 Takte, wobei der Overhead zur vorherigen Realisierung nur 2 Takte beträgt. Bei dieser Frequenz führt dies zu einer Dauer von rund 0,33 ms pro Zyklus und einem theoretischen Maximum von ca. 3000 Partikelfilter Zyklen pro Sekunde. Ausgehend von der Bewegung eines Menschen mit einer angenommenen Geschwindigkeit

von 1 ms^{-1} genügt jedoch bereits eine Frequenz von rund 2 MHz um dessen Position auf den Zentimeter genau zu verfolgen. Ein Update des partiellen Umgebungsmodells im Block-RAM ist bei dieser Geschwindigkeit und im Hinblick auf die VOI-Größe in jedem Prozessierungsschritt möglich. Da bereits eine relativ geringe Frequenz zur Verfolgung eines sich bewegenden Objektes ausreicht, ist der Vorteil dieser Implementierung im Vergleich zu einer reinen Softwarelösung vor allem in deren Energieeffizienz zu sehen.

7 Zusammenfassung

In diesem Beitrag wurde ein hardware-basierter Partikelfilter zur Positionsbestimmung um ein 3-dimensionales Umgebungsmodell erweitert. Durch Hinzufügen von bereits bekannten Informationen in den Schätzprozess, lässt sich der Suchraum einschränken und so die Qualität der Positionsbestimmung erhöhen. In dieser Arbeit wurde ein Punktwolken-Modell zur Beschreibung einer 3-dimensionalen Umgebung gewählt, wobei Teilbereiche als Volume of Interests aus der kompletten Karte mittels Software extrahiert und der Hardware-Implementierung zugeführt werden. Die Ergebnisse zeigen eine verbesserte Genauigkeit der Positionsbestimmung durch Integration der Umgebungsinformationen in den Schätzprozess des Partikelfilters. Der Hardware Overhead ist dabei vor allem auf das Vorhalten eines Teils der Umgebung im Block-RAM begründet. Die Größe des Teilbereichs in Zusammenhang mit der geforderten Auflösung des Umgebungsmodells definiert den FPGA zur Implementierung des erweiterten Partikelfilter. Die vorgestellte Lösung ermöglicht es die Bewegung einer Person in Echtzeit zu verfolgen und ist durch Realisierung in einem Hardware/Software-System energieeffizienter als eine pure Softwarelösung.

Literaturverzeichnis

[Fr10] Froß, D.; Langer, J.; Froß, A.; Rößler, M.; Heinkel, U.: Hardware implementation of a Particle Filter for location estimation. In: 2010 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation. S. 1–6, Sept 2010.

[Ma12] Mautz, Rainer: Indoor Positioning Technologies. Habilitation, ETH Zürich, 2012.

[Me82] Meagher, Donald: Geometric modeling using octree encoding. Computer graphics and image processing, 19(2):129–147, 1982.

[ME85] Moravec, H.; Elfes, A.: High resolution maps from wide angle sonar. In: Proceedings. 1985 IEEE International Conference on Robotics and Automation. Jgg. 2, S. 116–121, Mar 1985.

[MM94] Moravec, Hans P; Martin, Martin C: Robot navigation by 3D spatial evidence grids. Mobile Robot Laboratory. Robotics Institute, Carnegie Mellon University, 1994.

[RTJ89] Roth-Tabak, Y.; Jain, R.: Building an environment model using depth information. Computer, 22(6):85–90, June 1989.

[TBF05] Thrun, Sebastian; Burgard, Wolfram; Fox, Dieter: The Particle Filter. In: Probabilistic Robotics. MIT Press, Kapitel 4.3, S. 96–113, 2005.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 515

DC/DC Converter Development by Means of Electrical/Thermal Co-Simulation – from Concept to Control Algorithm and Test

Radovan Vuletić[1], Sandra Zeljković[2], Pawan Garg[3] and Alann Denais[4]

Abstract: This paper presents the development of 3 kW bidirectional, non-isolated, multiphase interleaved, synchronous 48 V/12 V DC/DC buck-boost converters. It describes solutions for different concept, hardware and software challenges, starting with selection of proper circuit topology, selection of power switches (switching frequency, voltage class and current ratings), calculation of power budget (efficiency) and thermal analysis, Furthermore, it explains PCB layout electrical/thermal co-simulations, elaborating approach in development of average current control algorithm with the target to enable phase shedding and equal current sharing among active phases, improve the light load efficiency and thermal behaviour. Finally, it tackles the topic of automated code generation and implementation on dedicated microcontroller.

Keywords: Multiphase 48 V/12 V DC/DC Converter, Electrical/Thermal Co-Simulation, Average Current Control Algorithm, Automated Code Generation.

1 Introduction and Requirements

Recently, tightening of environmental legislation regarding CO_2 emission has pushed automotive OEMs to intensively think of ways to improve the fuel consumption efficiency by further extending and improving electrification of passenger vehicles. As a result, an additional voltage level, 48 V on-board power network is being introduced [GVRL15]. In this case, although the energy is generated and stored at the 48 V level (48 V battery), the 12 V battery and its loads (lighting, safety functions etc.) have to be supplied using a DC/DC converter, which links these two board nets and enables continuous, safe and efficient bidirectional energy transfer.

An interface converter between 12 V and 48 V board nets has to be capable of bidirectional power transfer from approximately 1.5 kW up to 3 kW. This power rating is primarily a requirement for the power transfer to the 12 V side, and may differ for the

[1] Infineon Technologies AG, IFAG ATV SYS SE HW, Am Campeon 1-12, Neubiberg, 81673 Germany, radovan.vuletic@infineon.com
[2] Infineon Technologies AG, IFAG ATV SYS SE HW, Am Campeon 1-12, Neubiberg, 81673 Germany, sandra.zeljkovic@infineon.com
[3] Infineon Technologies AG, IFAG ATV SYS SE HW, Am Campeon 1-12, Neubiberg, 81673 Germany, pawan.garg@infineon.com
[4] Infineon Technologies France S.A.S., IFF ATV SMD EMEA, TLS/Toulouse, France, alann.denais@infineon.com

doi:10.18420/in2017_47

energy flow in the opposite direction. At 48 V side, the converter faces the voltage range between 36 to 54 V, whereas extended voltage range of 24 V to 60 V should be covered with derating functions. Operating output voltage at 12 V side is specified in the range from 10 V to 16 V. As both 12 V and 48 V are below the safety limitation of 60 V, galvanic isolation is not required and therefore efficiency above 95 % (for load above 250 W) with passive air cooling is targeted. Besides low cost as the primary driver in the automotive industry, requirements of an automotive 48 V to 12 V DC/DC converters include high reliability, high efficiency and modularity. Protection against short circuit between 48 V to 12 V board nets inside the converter itself is essential and needs to be avoided by any means. Additional functions are needed to protect the system against overload, over-temperature and reverse polarity at 12 V side. The most suitable approach, taking high output currents in this application (up to 250 A) into account is a multiphase design [ATA16] of the power stage. Proven advantages of the multiphase design combined with an interleaved switching scheme [GZC09, SL13] are modularity and scalability, improved thermal distribution, reduction of capacitor size as well as the phase shedding to achieve optimal efficiency at partial load. Furthermore, several phases in parallel allow using components with lower current rating.

The important safety-relevant function of disconnecting 48 V from 12 V automotive net in a regular buck topology requires additional protection switches to isolate the failed phase(s) after short-circuit failure of the semiconductor. They have to disconnect the 12 V from 48 V net in case when short circuit occurs at any of MOSFET switches [GB16]. By disconnecting one independent block in case of an internal short circuit in a particular phase, the system can continue delivering the reduced amount of power to the output. Therefore, 50% (one remaining block is operating) of nominal power can still be transferred. Thus, fault-tolerance for short- and open-failures is achieved and operation with reduced number of phases is feasible.

2 Power Converter Design

2.1 Methodology

Power converter is implemented as a multi-stage DC/DC converter made out of 8 interleaved stages, each stage containing same buck/boost topology. Main reason for implementation of relatively high number of power stages, next to the modularity requirement, is lack of commercially available, automotive qualified inductors capable to continuously handle high currents ratings (>30 A_{DC}/10 $A_{p\text{-}p}$).

During the concept phase, the DC/DC converter performance is investigated by means of electrical-thermal co-simulation as depicted on the Fig. 1. MOSFET behavioural SPICE models (models with electrical thermal ports) are used to enable selection of optimal power switches (switching frequency, voltage class/technology and current ratings), calculation of power budget (efficiency) and thermal analysis. Typical example of

parameters variation is shown in Fig. 2.

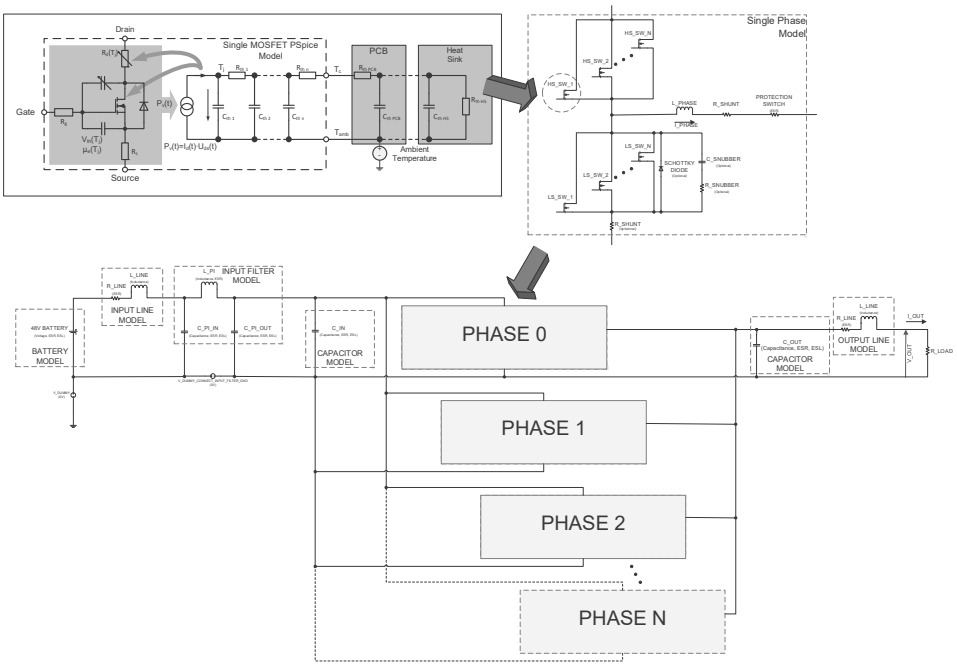


Fig. 1 Setup for concept investigations with SPICE simulations

```
*************************************************************************
*                                                                       *
*        Avenue Sweep Parameter Overview, created 2016/07/18 18:15:58   *
*                                                                       *
*************************************************************************

Parameter Sweep Information:

  AMBIENT_TEMPERATURE                                = 105 70
  PROBE_DEPTH                                        = 5
  NR_HS:NR_LS:MOSFET_100V_HIGH:MOSFET_100V_LOW:S5_HIGH:S5_LOW:PR_SW_ESR = 2:2:0:0:0:0:1.9m
  ...                                                = ... 1:1:1:1:1:1:1:2.4m 2:2:1:1:1:1:2.4m 1:1:0:0:1:1:2.4m
  ...                                                = ... 2:2:0:0:1:1:2.4m 2:2:1:0:1:1:2.4m
  SIMULATION WITH RTH                                = 1
  SCHOTTKY DIODE                                     = 0
  SNUBBER                                            = 0
  TRI_FRQ                                            = 80K 100K
  R_GATE_ON                                          = 5 10 20
  CONST_LOAD                                         = 1
  DUTY_CYCLE                                         = 285m
  SERIAL_SHUNT                                       = 1
  NUMBER_OF_PHASES                                   = 6 8 9 10
  INPUT_FILTER                                       = 1
  OUTPUT_LINE                                        = 1
  INPUT_LINE                                         = 1
  TEST_SIMULATION                                    = 0
```

Fig. 2 Typical set of varied parameters in SPICE simulation

As a result of the simulation setup with parameters variations, a couple of hundreds of simulation runs are executed in parallel on the computing farm, automatically generating efficiency map tables. One example efficiency map table created for typical operation conditions is shown in Fig. 3.

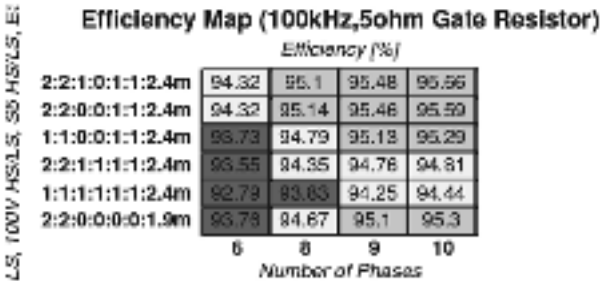


Fig. 3 DC/DC Efficiency Map (@ 3 kW Constant Load, 100 kHz, Rg 5.0 Ω, Ta 105°C)

It should be mentioned that with 5-port MOSFET behavioural SPICE models (next to gate, drain and source as electrical ports, there are junction temperature and case temperature as thermal ports as well) not only electrical, but also thermal behaviour of semiconductors is modelled, enabling proper dimensioning of PCB layers w.r.t. PCB layer thickness, area of layers and their inter-connection (via) and aluminium heatsink for passive air cooling. Typical waveforms of junction port (used just for temperature observing) and case port (connection to the PCB) are shown in Fig. 4.

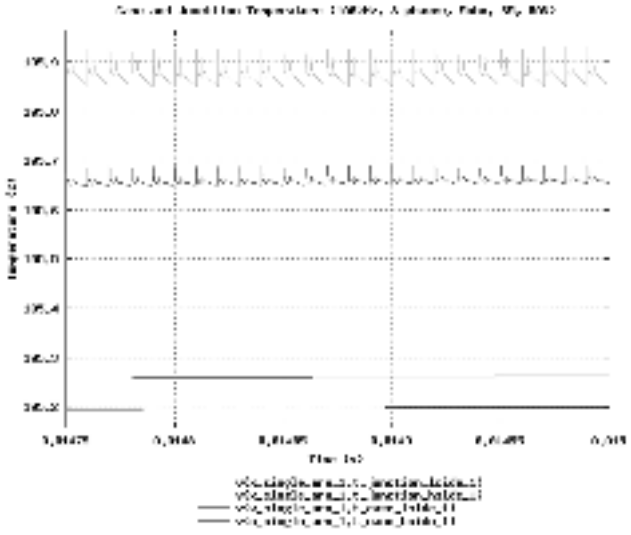


Fig. 4 Case and Junction Temperature (@ 3 kW Constant Load, 100 kHz, Rg 5.0 Ω, Ta 105°C, High Side and Low Side MOSFET in S5/80 V Technology, 8 Phases in Parallel)

2.2 DC/DC Converter Topology

Based on requirements defined in section 1 (redundancy, modularity, safety) and feasibility study made based on SPICE simulations described in section **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** (efficiency, switching frequency) decision is made to implement topology shown on Fig. 5.

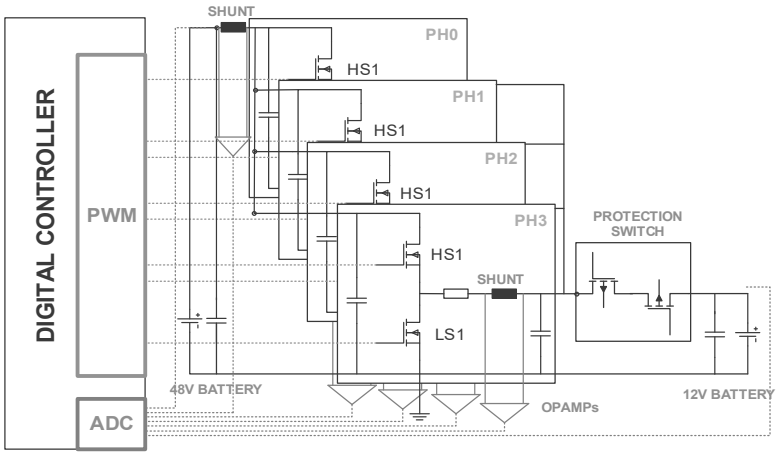


Fig. 5 Block diagram of an automotive 48 V/12 V DC/DC converter's single channel consisting of 4 phases and common protection switch

Fig. 5 shows the block diagram of a multiphase buck-boost converter with digitally implemented control algorithm. Ever increasing electrification of passenger vehicles just recently recognized the need for digital control of DC/DC converters, but is still strictly limited to the commercially available low cost automotive microcontrollers. Although the cost is the leading argument to stay with proven analog converters, the possibility of using a single device - microcontroller to take over not only the role of computing the control algorithm for the multiphase system at switching frequencies in the range of 100 kHz, but also the role of communication, supervision tasks and important safety measures to support the system safety concept, makes it a solution for safety critical applications.

Digital current mode controller has been analysed in multiple references [PM05], however usually reported with FPGA implementation. One of the objectives of this paper is to present the experimentally proven controller design and implementation in the converter in Fig. 6. The controller has standard two-loop architecture: an outer,

slower voltage loop (target bandwidth (BW) of PI controller of 1 kHz) and inner, faster current control loops (target BW of PI controller of 10 kHz) that is simplified shown in Fig. 7.

A well-known disadvantage when sampling the current only once per switching period (used with average current control mode Fig. 8) is the fact that reaction to a current transient takes at least one switching period [PM05]. Furthermore, average current control mode unfortunately does not allow direct cycle-by-cycle current limitation.

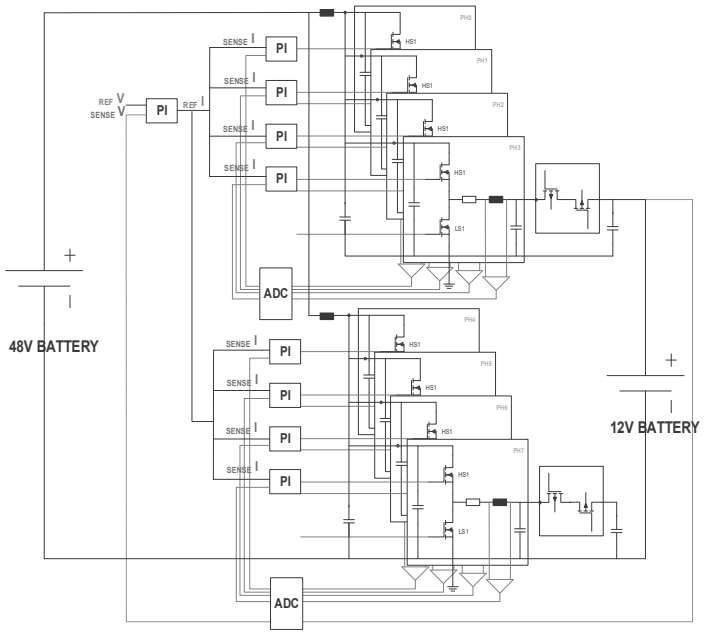


Fig. 6 Block diagram of an automotive 48 V/12 V DC/DC 3 kW converter built of 2 channels (each single channel consisting of 4 phases and common protection switch) including common voltage and multiple phase current loops

Since the short current protection between two automotive board nets is an essential requirement in the system presented in this paper, two-level overcurrent protection is implemented. The protection is implemented for each channel (consisting of 4 phases) separately using shunts and amplifiers presented in a channel in Fig. 6. The first level is the phase current limitation based on phase current sense signals brought to the ADC. When any of phase current sense signals reaches the pre-defined overcurrent threshold, the protection is tripped and the complete channel containing the phase affected by the overcurrent event is disconnected through the corresponding disconnects switch (Fig. 6). In addition, the PMW signals are stopped from being propagated to the gate drivers. The

first level of the current protection can only detect the overcurrent event that can also be observed through the inductor including short circuit protection between 48 V and 12 V side. Therefore, the second level of current protection had to be implemented for detection of overcurrent events that possibly do not affect the phase inductors. A single current sensing resistor as proposed in [CLH16, HS16] is used for this purpose in the common 48 V line of each of two separate channels presented in Fig. 6. When the set limit is reached, the emergency stop of the microcontroller is activated. The activation of this emergency stop, immediately switches the PWM output, and channel enable signal, to 3-state without the intervention of the CPU. This enables the external pull down resistors to set the DC/DC in a safe state and avoid hardware damages.

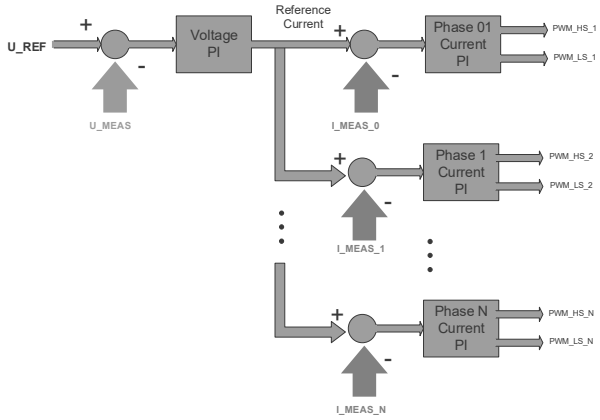


Fig. 7 Simplified block diagram of control method with common voltage and multiple phase current control loops

Due to the fact that the duty cycle in both buck and boost operating mode for the voltage ranges of the presented system is not expect to increase over 0.5 in the worst case, it is assured that the ripple peaks of phase input currents of a channel consisting of a four phases will be faithfully represented in the sensed total input channel current signal (Fig. 9).

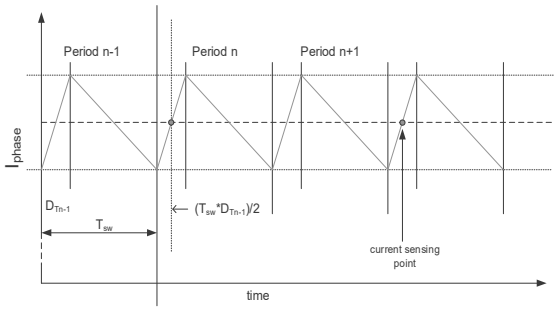


Fig. 8 Illustration of average current sensing

Therefore, in the case of channel input current sensing the sensed signal is not forwarded to ADC but compared in an analog way to the threshold. The comparator output is further brought to the input of the microcontroller to be handled with higher priority.

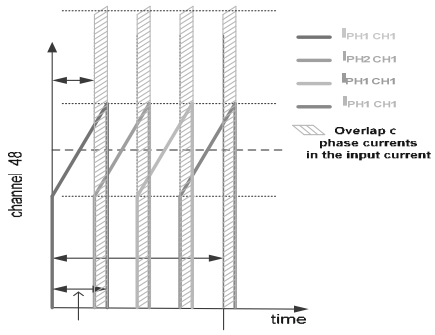


Fig. 9 Fragments of input channel current

2.3 Phase Shedding

Phase shedding is an often used approach to improve the efficiency of the multiphase converters at light load by adapting the number of phases to the load level based on either pre-measured or real-time information of the system [ATA16, GZC09, SL13, GB16, PM05]. During the phase shedding when the number of phases is being reduced by one, in the system presented in this paper it is important to avoid excessive current overshoots that could trip the protection and unnecessary turn-off the phases. In an analog implementation and when using peak current control, this overshoot will not appear. Current overshoot can be damped by adjusting the parameters of the current PI regulator. However this makes the regulator to react slower and can affect the regulation

speed in nominal operating conditions. Also, with this method only limited damping of the current overshoot is possible still maintaining the danger of tripping current protection during phase number reduction. To avoid the deterioration of converter's dynamic while avoiding any unintentional protection tripping, the simple method is proposed in this paper. After receiving the command for phase number reduction, the controller does not immediately stop the PMW signals propagation to the gate drivers of the phase to be turned off. It first reduces the current reference of this particular phase per ramp to 0 A. This is the moment in which the phase disable signal can be safely sent. This action does not reduce the duty cycle of the particular phase to 0 since it would in certain cases lead to the negative current through the phase.

3 Control Algorithm Development

To overcome control algorithm challenges (phase interleaving, current balancing in 8 phases, load dynamics, modularity/phase shedding, available µC computational power) different multi-phase DC/DC Matlab/Simulink models were developed. State-Space Averaging model whose structure is shown in Fig. 10 is used to determine PI parameters of controller around nominal operating point.

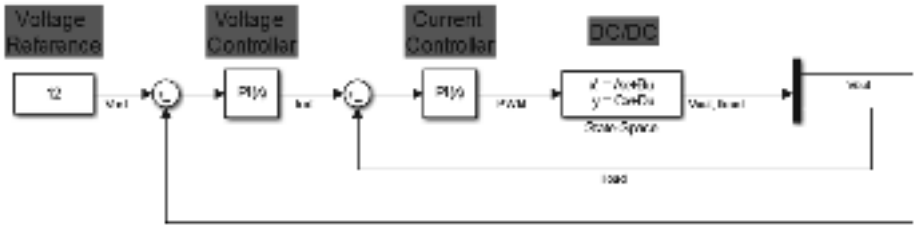


Fig. 10 Block diagram of a DC/DC converter using State-Space Averaging method

On the other side, for fine tuning, to determine the of influence of variations of HW manufacturing parameters (inductance, shunt resistance, PCB) and most important for investigating the response of the system on the disturbances (e.g. load change) Matlab/Simulink SimPowerSystems toolbox models (shown on Fig. 11) are used.

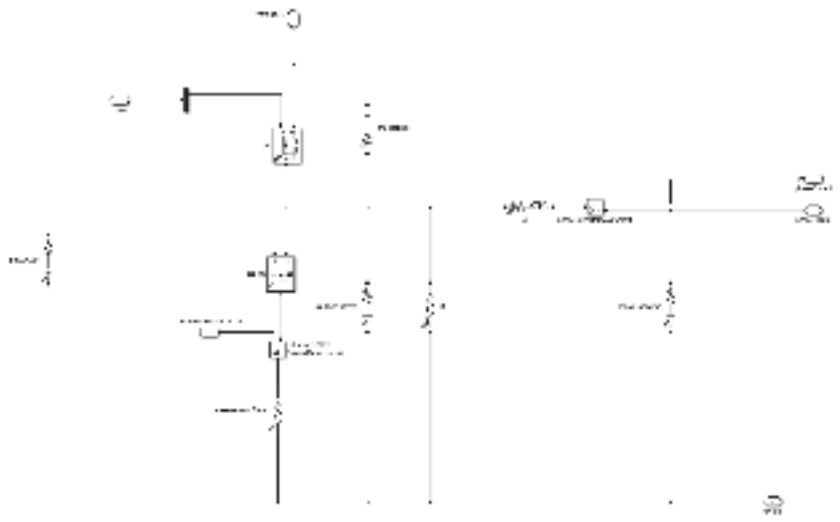


Fig. 11 Block diagram of one phase of a DC/DC converter using Matlab/Simulink SymPowerSystems toolbox

As a result of the control algorithm development, control structure depicted in Fig. 7 is implemented. In the "outer" control loop, the voltage controller (based on difference between reference and measured voltage) generates reference current and in "inner" loop, one current controller per phase (based on difference between reference and measured phase current) generates PWM duty cycle (separately for each phase). Main reason for having separate PI current controllers for every current control loop is in the fact that due to HW manufacturing variations, when using the same duty cycle for every phase, the difference in currents per phase at nominal load could be even 25-30% (proven in simulation and experimentally) what would lead to overheating, deteriorate of performance and finally physical destroying of power converter. On the other hand, increased number of PI controllers had as a consequence that the CPU computational power of a selected μC (again, typically automotive, the selection of μC was cost-driven) was not enough to calculate the duty cycle in real time at 100 kHz, forcing as a final consequence that the duty cycle is calculated and updated just at every second switching cycle (50 kHz -> 20 μs). Finally, by means of MathWorks' Embedded Coder C code is automatically generated and flashed to the TC264D.

4 Implementation in Microcontroller

4.1 Phase shift

As mentioned before in section 2.2, the control of the 8 phases is split in 2 channel groups, each channel having 4 phases. In order to minimize the ripple, the phases are

equally shifted as shown in the Fig. 12. The two channels are shifted by one 8th of a period, whereas within a channel all phases are shifted by a 4th of a period.

The PWM is configured to center aligned mode, so that the distance between all phases center is constant whatever the duty cycle settings. This is required to enable a synchronous phase current measurement by the SAR ADC.

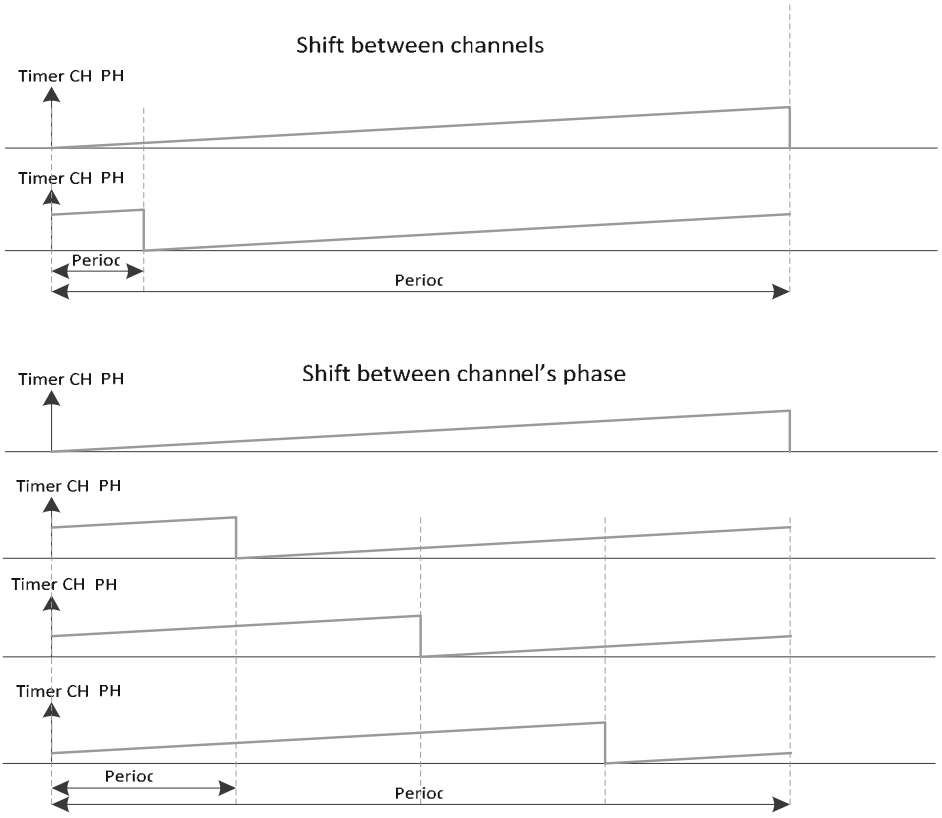


Fig. 12 Phase shift

4.2 Synchronisation and Timing

The phase currents are measured synchronously to the PWM by a SAR ADC. The sampling point is set so that the phase average current value is measured, and has been chosen to be around the middle of the low side switch, ON state. To achieve that, as shown in Fig. 13, an additional timer running at 4 times the PWM frequency triggers periodically the ADC so that the different phase currents are converted one after each other. When each phase current conversion is finished, an interrupt on CPU 0 is

triggered to scale the acquired phase current and update the PWM with new value calculated within the last 20 us. Additionally the interrupt triggered by the phase 0 current conversion every 20 us, triggers an interrupt on CPU 1 which starts the duty cycle calculation algorithm (code automatically generated by means of MathWorks' Embedded Coder) to calculate the new duty cycles to be applied.

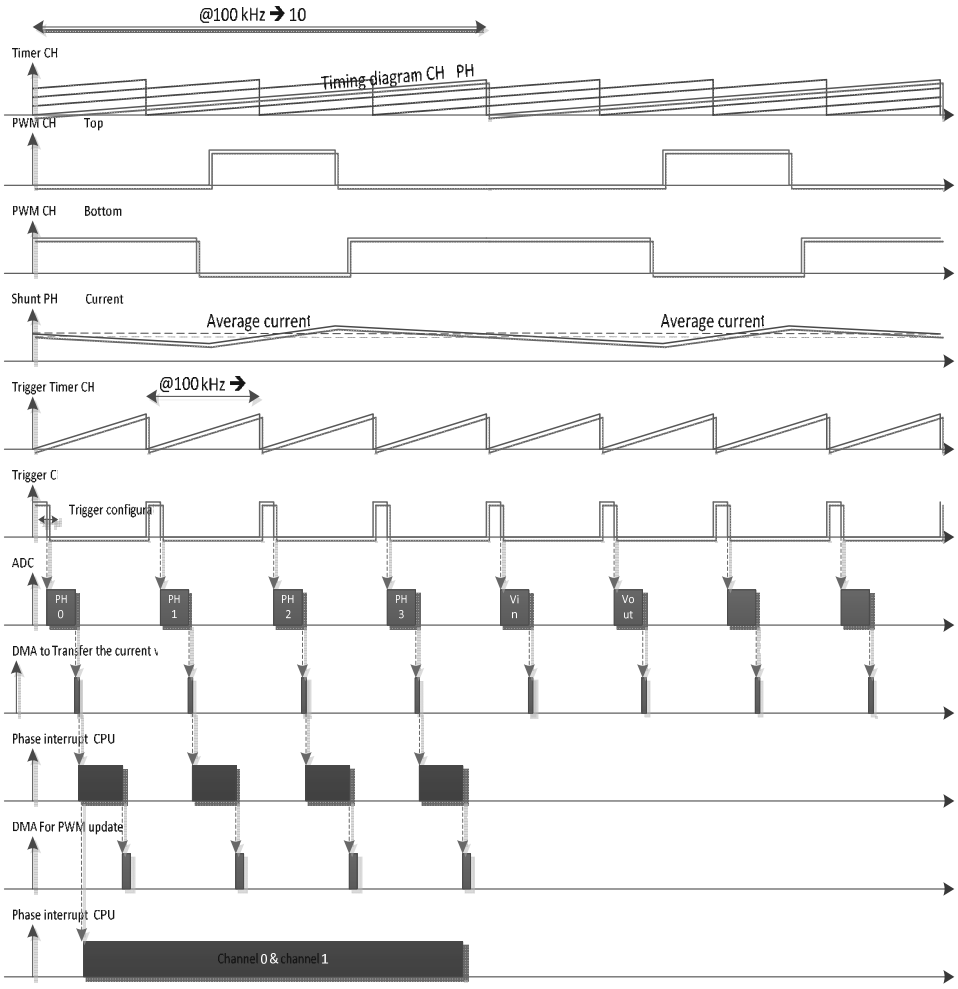


Fig. 13 Time diagram for channel 0

The Fig. 14 shows the timing when the both channels are enabled, in this configuration about 50% of the AURIX TC264D computational power is used.

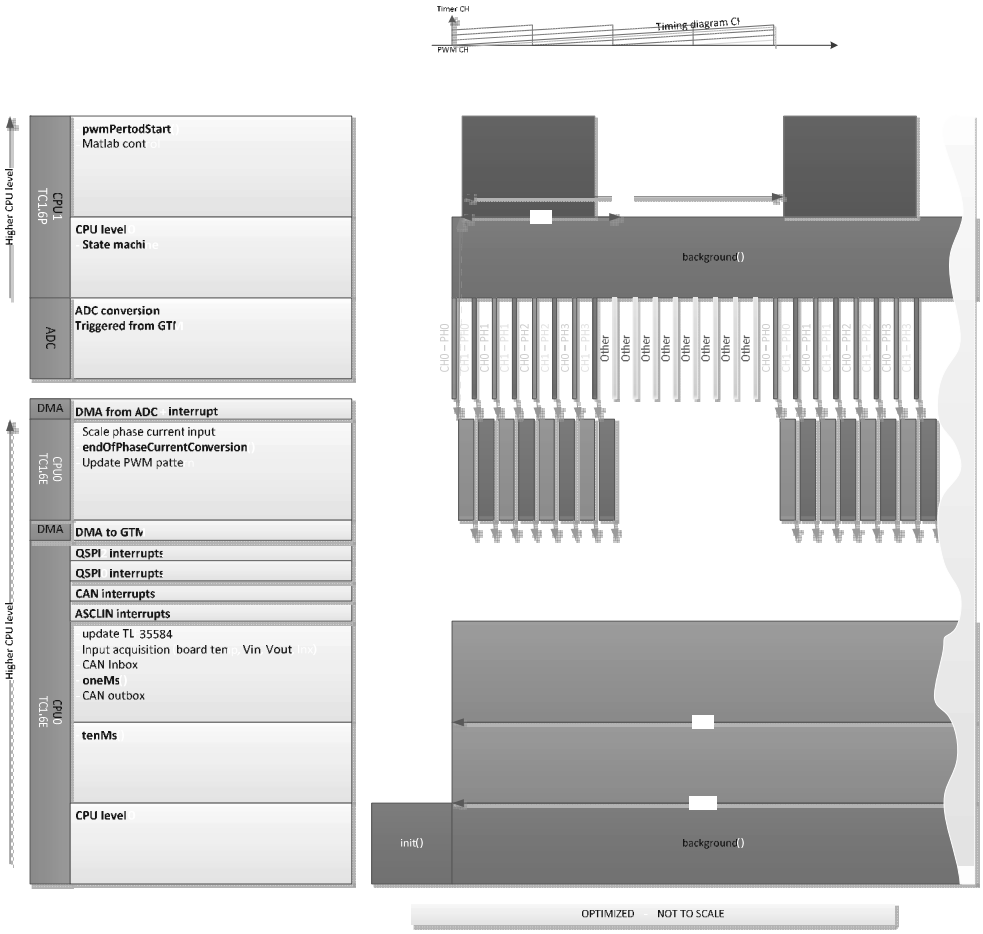


Fig. 14 Time diagram for 2 channels / 8 phases

5 Experimental Results

Efficiency pre-measurements as shown in are used for implementation of phase shedding (Fig. 15). The thresholds for changing the number of phases are determined and fixed in the control algorithm. By setting the threshold based on the pre-measured efficiency, very smooth efficiency curve (Fig. 16) can be achieved in the direction of load increase. The hysteresis is implemented needs to be implemented to avoid consecutive phase turn on/ off until the load reaches steady state.

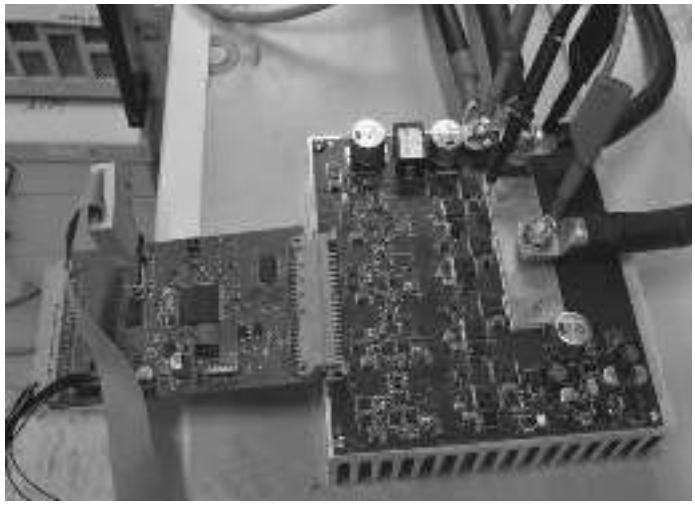


Fig. 15 Lab setup – 1.5 kW 4 phases passive air cooled power stage controlled by µC stage; Lab voltage source and electronic load are used in place of 12 and 48V batteries

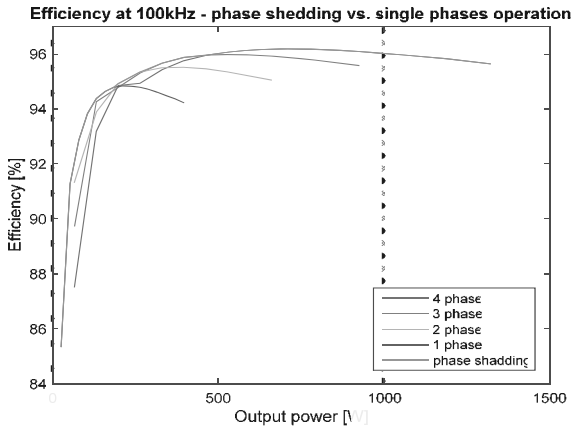


Fig. 16 Light load efficiency improvement due to phase shedding

6 Summary

The idea of extending the automotive on-board power network by 48 V voltage level brings the need for a power converter that will tie the 12 V and 48 V board nets together to enable safe and efficient energy exchange between them. The coupling is

performed through the DC/DC converter with power rating of up to 3 kW. As such power rating of the converter imposes the need for the high currents at 12 V side, Infineon Technologies presented a novel multiphase interleaved concept for 48 V/12 V DC/DC converter having BOM of up to 90% of in-house semiconductors content including power switches for switching and protection (OptiMOS™ in 100 V and 40 V technology), MOSFET drivers, microcontroller (AURIX™ TC264D) and power supply/communication ICs) – challenges like reaching high conversion efficiency at 100 kHz switching frequency and development of complex control algorithm are solved by using electrical/thermal co-simulation and automated code generation. Infineon's automotive best-in-class $R_{ds,on}$ OptiMOS™ switches offers a solution that not only improves thermal distribution and reduces the size of passives, but also has a tremendous effect on modularity and scalability of the whole system. The possibility to isolate only a part of the converter in case of a single failure is the key benefit for the safety critical system such as the 48 V to 12 V converters. By using AURIX microcontroller that integrates all the control and safety functions in one chip, the concept presented here offers an integrated and compact solution that at the same time successfully fulfills strict requirements regarding safety and efficiency.

Bibliography

[ATA16] Anandha, R. T. T.; Tadeparthy, P.; Aniruddhan, S.; Gakhar, V.; Venkateswaran, M.: Optimal dynamic phase add/drop mechanism in multiphase DC-DC buck converters, 2016 IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC), Long Beach, CA, 2016, pp. 1878-1881.

[CLH16] Chen, H. C.; Lu, C. Y.; Huang L. M.: Decoupled Current-Balancing Control With Single-Sensor Sampling-Current Strategy For Two-Phase Interleaved Boost-Type Converters, in IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 63, no. 3, pp. 1507-1518, March 2016.

[CMS10] Costabeber, A.; Mattavelli, P.; Saggini, S.: Digital Time-Optimal Phase Shedding in Multiphase Buck Converters, in IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 25, no. 9, pp. 2242-2247, Sept. 2010.

[GB16] Gleissner, M.; Bakran, M. M.: Design and Control of Fault-Tolerant Nonisolated Multiphase Multilevel DC–DC Converters for Automotive Power Systems, in IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 52, no. 2, pp. 1785-1795, March-April 2016.

[GVRL15] Graovac, D.; Vuletic, R.; Roewe, T.; Leteinturier, P.: 48V Hybrid Systems from Semiconductor Perspective, the 28th International Electric Vehicle Symposium and Exhibition, May 3-6, 2015, Soeul, Korea

[GZC09] Garcia, O.; Zumel, P.; de Castro, A.; Alou, P; Cobos, J. A.: Current Self-Balance Mechanism in Multiphase Buck Converter, in IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 24, no. 6, pp. 1600-1606, June 2009.

[HS16] Han, J.; Song, J. H.: Phase Current-Balance Control Using DC-Link Current Sensor

for Multiphase Converters With Discontinuous Current Mode Considered, in IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 63, no. 7, pp. 4020-4030, July 2016.

[PM05] Peng, H.; Maksimovic, D.: Digital current-mode controller for DC-DC converters, Twentieth Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition, 2005. APEC 2005., 2005, pp. 899-905 Vol. 2

[SL13] Su, J. T.; Liu C. W.: A Novel Phase-Shedding Control Scheme for Improved Light Load Efficiency of Multiphase Interleaved DC–DC Converters, in IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 28, no. 10, pp. 4742-4752, Oct. 2013.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 531

A New Level of Trusted Cloud Computing - Virtualized Reconfigurable Resources in a Security-First Architecture

Paul R. Genssler[1], Oliver Knodel[2], Rainer G. Spallek[3]

Abstract: The cloud business is growing year by year, but there are still a lot of security concerns. The users of cloud systems, from a single individual to big companies, have to trust multiple parties who could all interfere and disrupt the provided service or compromise data privacy and security. New software exploits are being found every day, therefore we propose a secured reconfigurable hardware architecture to house sensitive algorithms and data. Using vetted cryptographic techniques and the slight inaccuracy of todays chip-manufacturing to generate unique keys only available to the hardware itself, we are able to create a trusted compute space in a remote cloud system. To achieve typical cloud characteristics like resource pooling and rapid elasticity, the reconfigurable silicon is virtualized while preserving the high security standard.

Keywords: Reconfigurable Computing, Cloud, Security, Virtualization

1 Motivation

The seamless user experience in today's information age is powered by an endless farm of servers. They are the foundations for an ever growing market of cloud computing [Gar17]. The cloud offers virtually infinite on demand processing power and scales fast to absorb a sudden spike in user requests. However, the server's high power consumption limits further growth of datacenters hence providers are exploring how to improve the performance through alternative architectures like GPUs or FPGAs. GPUs are a common solution nowadays, while reconfigurable hardware accelerators are slow to catch up but gain more momentum every year. In 2014 Mircosoft tested FPGAs to speed up their bing search [Pu14] and rolled out a second version to their data centers worldwide in 2016 [Ca16]. At the end of the same year Amazon announced their new EC2 F1 Instances [Ama16] making Xilinx UltraScale Plus FPGAs available to customers.
But regardless of whether the client uses CPUs, GPUs or FPGAs, they always have to trust the cloud provider to keep their data and algorithms secure and private. To reduce the chain of trust and keep the client's data safe but also to reduce power consumption and improve performance a new reconfigurable security-first architecture is needed.

[1] Technische Universität Dresden paul.genssler@tu-dresden.de
[2] Technische Universität Dresden oliver.knodel@tu-dresden.de
[3] Technische Universität Dresden rainer.spallek@tu-dresden.de

doi:10.18420/in2017_48

The following section 2 will outline previous work, after that the threat and trust model is described, section 4 introduces the new architecture followed by a security analysis in section 5. The paper is concluded in section 6.

2 Related Work

This section outlines literature from different research areas fundamental to secure reconfigurable hardware in the cloud. First, security concerns in cloud computing are summarized followed by approaches to control and minimize the threats and problems. Subsequently, virtualization of FPGAs is introduced and security concerns mentioned. The section concludes by showing different proposals for remote but secure FPGA designs.

2.1 Security Concerns in Cloud Computing

A cloud is primarily based on a software system to manage the clients. Like almost every software it is vulnerable to exploits and weak configurations opening security holes. However, there are more risks the client has to accept when using remote resources. A very detailed overview was given by Fernandes ([Fe14]) which will be summarized hereafter. It is not known what happens to the stored data: if it is duplicated, altered in any way, thoroughly isolation from other client's data, reliably overwritten before reuse or if there will be any downtimes. Virtualization introduces a whole lot of new security issues like virtual machine (VM) image theft or code injection. These issues persist even when the servers go offline, the security of old images degrades due to discovery of new vulnerabilities. The virtual machine manager (VMM) is a single point of failure as well as a worthwhile target to attack multiple VMs at once. A virtualized network allows packet sniffing and spoofing, leads to unstable network characteristics and can reduce the effectiveness of traditional security methods. VMs themselves can be the target of man in the middle or side-channel attacks or malware injection. Additionally a malicious administrator is a threat the client cannot control as well as identity management, authentication and authorization procedures.

2.2 Approaches on Cloud Security

A common tool to secure a standard CPU-based machine is a Trusted Platform Module (TPM) [Tru]. It provides features like authenticated boot sequence or cryptographic keys. It does not prevent modifications of a running program or data extraction, hence it cannot protect the whole system sufficiently. An FPGA based TPM module was proposed by Eisenbarth in [Ei07], but it is geared towards a processor supported single user application and requires an initial setup by a trusted third party. The sensitive internal state of the module cannot be transfered, making migration between nodes very difficult, preventing a flexible cloud.

Another approach for secure computing in a cloud is the use of full homomorphic encryption schemes described by Gentry ([Ge09]). They execute special algorithms on encrypted data - without decrypting it at any point. It is a very elegant solution, the user only has to take care of the key management. However, Moore concluded in their survey ([Mo14]) that there are still a lot of open problems and research to be done. For example could Lee attack parts the algorithm because of an incorrect choice of parameters ([Le11]). They summarized further that the performance of the used algorithms has to be drastically improved, homomorphic encryption is far too slow to be used in a productive system.

2.3 Preparing FPGAs for the Cloud

Following Moore's Law, the number of transistors doubles approximately every two years, FPGAs are growing in size with every new generation. But not every design can make use of the huge amount of available resources using only a portion of the chip. To increase the utilization, the logic can be virtualized to allow multiple different designs on the same device. This approach was used by El-Araby in [EAGEG08] to virtually increase the number of reconfigurable accelerators available to a CPUs although there was only a single physical device. Byma ([By14]) divided the logic resources into multiple regions which can be allocated like standard VMs using the open source cloud software OpenStack. An extended interface was proposed in [FVS15] by Fahmy, allowing not only prioritized communication to the host, but also provided an interface between the single virtual FPGAs. The focus of Knodel in [KS15] is not only on virtualization of the FPGA allowing flexible partitioning but also on different service models to satisfy various customer demands.

The before mentioned proposals focused on enabling FPGAs in the cloud, however, they neglected major security concerns. Although software offers a larger attack surface than hardware, due to their complex multi tasking and resource sharing, FPGAs and their configuration are still vulnerable to certain attacks and multiple security concerns arise.
First of all, the system designer cannot be sure that the chip is free of hardware Trojans, either the FPGA vendor or the foundries could have added them. However, Agrawal investigated in [Ag07] how the vendor can detect hidden backdoors using methods from cryptanalysis like power and temperature profiling to create a unique fingerprint for the IC. To generate such a fingerprint, only a few chips have to be invasively tested if they comply with the vendor's specifications. In 2012 a backdoor leaking security keys among others was detected in a military grade Actel/Mircosemi FPGA ([SW12]).
Thompson challenges the basic trust in software in [Th84]. The EDA tools themselves could extract information or manipulate the developers designs. This basic problem directly affects all approaches on security and is not within the scope of this paper. Meanwhile a strong reputation of the EDA tools developer might ease the concerns of system designers and clients.
Operating FPGAs or other hardware under direct control of the clients is fairly secure, e.g. can firewalls prevent any data leakage. Yet, many FPGAs are deployed in the field

and the system designer looses direct physical access to secure the system. It has to withstand attempts of reverse engineering, cloning or overbuilding, among others. Leading manufactures are aware of such threats and attacks and provide tools to secure the valuable intellectual property (IP) [Tr07]. However, the system has its shortcomings. Trimberger outlines possible attacks in [TM14]. For example, the decrypted design could be intercepted while it configures the FPGA. Side-channel attacks like power, timing and electromagnetic emanation analysis can be used to weaken the protection from encryption. Timing based ([Bh09]), optical ([SA03]) or EM ([SH07]) fault injections can break the security of the chip as well. But again, there are effective defenses in place to protect the chip which were summarized in [ZQ14] by Zhang.

If the engineer has access to the devices before they are deployed, necessary security measures can be taken. However, in a cloud environment where the Infrastructe as a Service (IaaS) provider cannot be trusted, it is impossible for the client to establish any trust. Therefore third party entities, often called trusted authority (TA), are employed in different proposals to deploy a secured initial configuration. Drimer ([DK09]) and Devic ([DTB10]) describe both a protocol for secure remote updates which could also be used in the cloud context. They require additional Non-Volatile-Memory (NVM) and the first configuration is done in a trusted environment. Kepa proposed in [Ke08] a few enhancements to the FPGA fabric to allow for a secure controller with a strong chain of trust to be implemented. A TA certifies the public key generated by the controller. They mediate access to the internal configuration port to prevent a malicious configuration from altering their controller. But the user space would have to be free of any routing resources used by the static design of the controller for this approach to work. Another single user framework was proposed by Eguro ([EV12]). With the example of medical data they described how a TA would configure FPGAs with symmetric keys before they are delivered to the datacenter. Afterwards, clients send their design to the TA for encryption. It than can only by used by the trustworthy preconfigured FPGA. They point out the difficulties of a secure multi user approach because of route-through wires to hard macros or I/O pins which have to be protected from an adversary.
But employing a TA just transfers the trust problem from one party to another, the number of involved and trusted participants does not change from the clients perspective.

3 Security Assumptions

Based on the literature analysis of the previous section, this paper proposes a new architecture. It provides flexible virtualization of reconfigurable hardware and allows a remote but secure deployment in the cloud. There, according to Mell multiple providers have to be considered ([Me11]). At the basic level is the owner of the datacenter, the IaaS provider. On top of that is the Platform as a Service (PaaS) provider, controlling operating systems and configurations to virtualize the basic resources enabling a consumer to deploy applications. The Software as a Service (SaaS) provider uses the platform to offer services like web-mail to various clients.

3.1 Threat Model

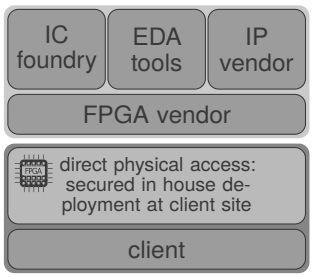
The proposed system is considered being under attack and in an unsafe environment after it has been shipped from the chip vendor (CV) to the board manufacturer. Therefore, the board itself is treated as hostile and no unencrypted data can leave the chip, unless explicitly sent by the user through a dedicated channel. Only standard cryptographic algorithms like AES and RSA are used in this proposal, therefore all encrypted data is assumed to be secure without access to the key. Furthermore, the chip is hardened against physical attacks which would yield the cryptographic keys easily. Costlier attempts are not efficient enough to scale well and are therefore not considered a threat to the proposed system in general. The security architecture was designed to protect the user's data and algorithms. Hence, slow downs, denial of service attacks or even physical destruction are not evaluated.

3.2 Trust Model

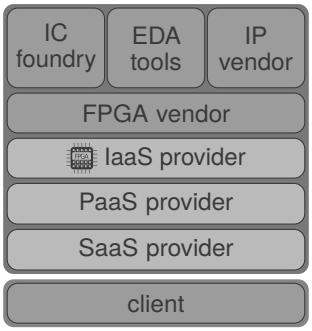
The user of a any remote system never has total control over it contrary to classic in-house deployment shown in Figure 1a. There, not even data leaking hardware Trojans are a concern because any network access can be physically prevented or fully controlled by firewalls. However, the trend towards cloud computing moves the devices out of client's reach and into datacenters controlled by the IaaS provider. Other service provider base their business model on top and the client is compelled to trust them all. Only the local workplace can be considered secure (Figure 1b).
To reduce the required trust, several approaches were proposed and outlined in section 2.3. However, they either only virtualize the FPGA without sufficient save guards or secure it but fail to meet the cloud characteristics of resource pooling i.e. do not allow multiple user. Those proposals rely on a TA to establish trust, to secure the first deployment or to sign keys associated with a FPGA (Figure 1c). This intermediate step is necessary because the chips and vendors do not offer better features geared to the needs of cloud security. Therefore, the proposed architecture is the next logical step uniting virtualization and security into a single chip whilst no TA or a secure environment for the first setup is needed (Figure 1d). Instead, the initial configuration is part of the chip, untouchable neither by any other party involved in the its deployment nor through malicious user. This creates a trustworthy compute space for the clients.

4 The Secure Architecture

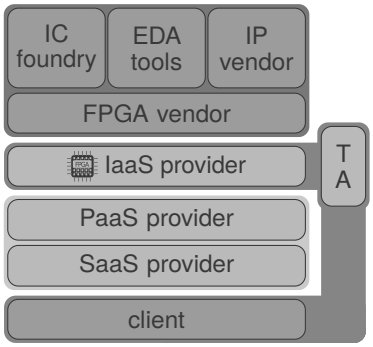
The proposed new architecture is a specialized FPGA for secure cloud computing in an untrusted environment. However, trough virtualization it becomes an elastic cloud resource



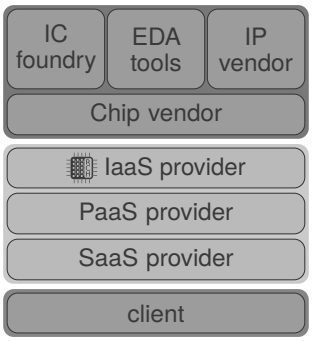
(a) Classic offline usage at the client's facilities. Most secure solution, but without cloud benefits.



(b) State of the art cloud usage: the client has to trust everybody.



(c) Based loosely on proposal from [EV12], using a trusted authority (TA) which the client and the Iaas Provider have to trust. Other providers can only access encrypted data.



(d) The proposed new architecture does not rely on any third party and also excludes the IaaS provider.

Fig. 1: An overview of typical offline (a) and cloud (b) usage models. (c) includes a third party TA. The proposed new architecture shown in (d) minimizes the required trust.

like storage or CPU cores. This section describes the modules of the architecture and how they are engineered to work together to ensure security.

4.1 System Design

An abstract view of the chip layout is given in Figure 2 showing the division in reconfigurable regions (RRs) and a static part. The basic modules are fixed and cannot be tampered with by the users, the board manufacturer or the cloud infrastructure provider. This includes endpoints for various high speed interfaces, e.g. PCIe for device-host communication, Ethernet for direct network access, a board-to-board connection or other protocols. The

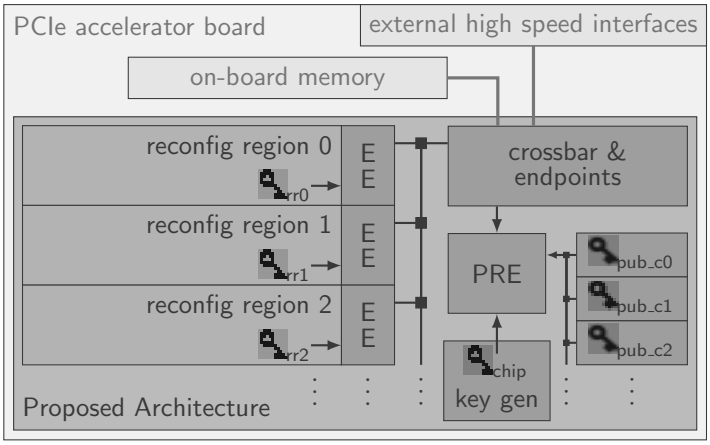


Fig. 2: The chip is located on a typical accelerator board with fast memory and various connections (e.g. PCIe, QPI or Ethernet). The crossbar is an endpoint for those links and manages the communication of the reconfigurable region (RR), which is always secured through the encryption engines (EEs) supplied with a symmetric key directly from the RR. A RR is reconfigured through the partial reconfiguration engine (PRE) which gets a private key from the key generator. The public keys of the clients are written by the host into the pub_cX registers to verify their digital signature on hardware level.

implementation of those endpoints includes a simple round-robin flow control to prevent a malicious user from flooding it and blocking of other customers. An advanced version would include a more sophisticated approach to conform to different service level agreements dependent on the user's requirements. The crossbar handles requests to the on-board memory which is subdivided into as many partitions as there are RRs. It blocks all request which would violate this direct association, although this is only an extra security layer.

Because anyone with physical access to the board could read out the memory contents, each byte of data leaving the RR is encrypted by the encryption engine (EE) regardless if it goes to the memory or through the high speed interfaces. The EEs are high speed Advanced Encryption Standard (AES) cores using a key directly supplied from within each of the RRs. The user specified symmetric key is embedded in the configuration data, hereafter also named bitstream. To prevent it from being stolen the bitstream header is encrypted using the public key of the chip.

This asymmetric key pair is generated by the silicon itself using the key generator (*key gen* in Figure 2). This module is implemented using a physically unclonable function (PUF) to create an individual key pair for every single chip. There are multiple proposals (e.g. [SD07], [PD11]) on how to build a reliable key generator using such an element. Only the public key is accessible from the outside and is published by the chip vendor through a public key infrastructure (PKI). The private key is solely readable by the partial reconfiguration engine (PRE), the module to alter the configuration of the RR. It decrypts the incoming

bitstream header, which contains an user specified symmetric key to decrypt the rest of the bitstream. Starting with asymmetric encryption is mandatory. An implementation using only symmetric algorithms requires the distribution of the secret key to every user who could in turn decrypt bitstreams of other users. However, symmetric encryption is significantly faster and should be used to improve reconfiguration performance.

Aside from the static part, most area of the chip is reconfigurable like current SRAM-based FPGAs. This area is virtualized in multiple homogeneous RRs therefore allowing the combination of an arbitrary number to a larger region assignable to a single user. This allows for bigger and more complex designs and avoids different chip versions with different RR sizes and numbers. It is the basis for a flexible and scalable system required in the cloud.

4.2 Hypervisor

A node in the cloud system contains at least one board with the proposed chip and is virtualized by the PaaS provider, who uses a VMM or hypervisor to serve every user a separate VM. This is a common approach, but the hypervisor has to perform additional tasks. Alongside with the RR allocation request the user sends a public key which is forwarded to the PRE, the hardware side of the hypervisor. There the key is written into a register associated with that region. The user signs the checksum of the bitstream with the corresponding private key and appends it. The PRE uses the public key stored in the register to verify it and to prevent tampering, cloning or other malicious attempts to alter the bitstream.

To prevent hijacking of other users' space and interfering with their task or even extracting unencrypted data, the bitstream consists of single frames. Each has an address which is used by the PRE to filter out any frames not located in the currently reconfigured region. If multiple regions are required, the public key is written into each of the registers and the configuration process is repeated for every region. After a successful and verified reconfiguration, the PRE notifies the crossbar of the changes and it flushes any buffers and clears the allocated on-board memory. The unused EEs are disabled and the data is routed through a single port.

4.3 User Design Flow

The design flow form the user's point of view does not change a lot compared to traditional FPGA development chains. Initially an interface is available to model the high speed connections and the on-board memory. The EE is transparent to the user. After the design was synthesized the tools show how many regions are required and partition the bitstream accordingly. It is encrypted with a user generated symmetric key which itself will be secured with the public key from the target chip.

5 Security Analysis

The security of the proposed system is based on the key generator and the unique private key it generates. A commercial design is therefore expected to implement additional state of the art defenses against fault, power or other kind of attacks to protect this key from extraction ([Fo10]). Hence, the client has to trust in the ability of the CV to produce effective but also Trojan free hardware. However, it is in the interest of the company to deliver the most secure devices. It takes a long time to build a strong reputation, but only one misstep to ruin it. Also Anderson points out the "scatter gun" nature of reconfigurable devices in [ANY08]. The client may rely on the fact that the vendor does not know which design will be executed using the chip, therefore cannot directly target a single customer. Implementing some sort of discovery mechanism would increase the chance of Trojans being detected even further. A TA on the other hand knows its clients and could select targets more specifically. At this point a basic level of trust in well known manufactures has to be assumed otherwise the general usage of connected electronic devices has to be questioned.

6 Conclusion and Future Work

This paper described a novel architecture to provide a secure compute space in the cloud. Based on a asymmetric cryptographic key generated directly in hardware and unable to leave the device, the system can establish a high level of trust for the client. Other than previous proposals outlined in section 2.3, this novel architecture does not rely on a secured first boot or a third party trusted authority. It protects the client's algorithms and data from all cloud participants and even the chip vendor using standard cryptographic processes. Through virtualization of the reconfigurable resources within the device, resource pooling as well as fast and flexible scalability are possible – key characteristics of a successful cloud.

Right now, the client has to encrypt parts of the design with the specific public key of each chip. To allow quick and easy scaling to multiple chips this process might be moved to the cloud. A bootstrap design could be installed to handle the encryption. The actual design's bitstream would be uploaded to it and stored securely through it.
Another problem is defragmentation of the reconfigurable space. Moving a few smaller tasks from multiple nodes to a single node makes room for larger requests increasing the overall system efficiency. Migration of a design state was shown by Knodel ([KGS17]), but they broke the security boundary by using the host's CPU to extracted the state from the unencrypted bitstream. It has to be investigated how a transparent relocation between regions or general pausing and extracting can be done whilst keeping the design secure.
The immediate next step is a prototype implementation of the proposed architecture using a FPGA. This will allow us to determine resource usage and overhead of such a model. However, based on previous implementations of similar frameworks we do not expect any significant bottlenecks considering the vastly improved security this architecture provides.

References

[Ag07] Agrawal, D.; Baktir, S.; Karakoyunlu, D.; Rohatgi, P.; Sunar, B.: Trojan Detection using IC Fingerprinting. In: 2007 IEEE Symposium on Security and Privacy (SP '07). pp. 296–310, May 2007.

[Ama16] Amazon. Amazon EC2 F1 Instances, November 2016. https://aws.amazon.com/ec2/instance-types/f1/.

[ANY08] Anderson, Matthew Smith; North, CJG; Yiu, Kenneth K: Towards Countering the Rise of the Silicon Trojan. Technical report, 2008.

[Bh09] Bhasin, S.; Selmane, N.; Guilley, S.; Danger, J. L.: Security evaluation of different AES implementations against practical setup time violation attacks in FPGAs. In: 2009 IEEE International Workshop on Hardware-Oriented Security and Trust. pp. 15–21, July 2009.

[By14] Byma, S.; Steffan, J. G.; Bannazadeh, H.; Garcia, A. L.; Chow, P.: FPGAs in the Cloud: Booting Virtualized Hardware Accelerators with OpenStack. In: 2014 IEEE 22nd Annual International Symposium on Field-Programmable Custom Computing Machines. pp. 109–116, May 2014.

[Ca16] Caulfield, Adrian M; Chung, Eric S; Putnam, Andrew; Angepat, Hari; Fowers, Jeremy; Haselman, Michael; Heil, Stephen; Humphrey, Matt; Kaur, Puneet; Kim, Joo-Young et al.: A cloud-scale acceleration architecture. In: Microarchitecture (MICRO), 2016 49th Annual IEEE/ACM International Symposium on. IEEE, pp. 1–13, 2016.

[DK09] Drimer, Saar; Kuhn, Markus G: A protocol for secure remote updates of FPGA configurations. In: International Workshop on Applied Reconfigurable Computing. Springer, pp. 50–61, 2009.

[DTB10] Devic, Florian; Torres, Lionel; Badrignans, Benoit: Secure protocol implementation for remote bitstream update preventing replay attacks on FPGA. In: Field Programmable Logic and Applications (FPL), 2010 International Conference on. IEEE, pp. 179–182, 2010.

[EAGEG08] El-Araby, Esam; Gonzalez, Ivan; El-Ghazawi, Tarek: Virtualizing and sharing reconfigurable resources in High-Performance Reconfigurable Computing systems. In: High-Performance Reconfigurable Computing Technology and Applications, 2008. HPRCTA 2008. Second International Workshop on. IEEE, pp. 1–8, 2008.

[Ei07] Eisenbarth, Thomas; Güneysu, Tim; Paar, Christof; Sadeghi, Ahmad-Reza; Schellekens, Dries; Wolf, Marko: Reconfigurable trusted computing in hardware. In: Proceedings of the 2007 ACM workshop on Scalable trusted computing. ACM, pp. 15–20, 2007.

[EV12] Eguro, Ken; Venkatesan, Ramarathnam: FPGAs for trusted cloud computinga. In: Field Programmable Logic and Applications (FPL), 2012 22nd International Conference on. IEEE, pp. 63–70, 2012.

[Fe14] Fernandes, Diogo AB; Soares, Liliana FB; Gomes, João V; Freire, Mário M; Inácio, Pedro RM: Security issues in cloud environments: a survey. International Journal of Information Security, 13(2):113–170, 2014.

[Fo10] Fournaris, Apostolos P: Fault and simple power attack resistant RSA using Montgomery modular multiplication. In: Circuits and Systems (ISCAS), Proceedings of 2010 IEEE International Symposium on. IEEE, pp. 1875–1878, 2010.

[FVS15] Fahmy, S. A.; Vipin, K.; Shreejith, S.: Virtualized FPGA Accelerators for Efficient Cloud Computing. In: 2015 IEEE 7th International Conference on Cloud Computing Technology and Science (CloudCom). pp. 430–435, Nov 2015.

[Gar17] Gartner. Gartner Says Worldwide Public Cloud Services Market to Grow 18 Percent in 2017, February 2017. http://www.gartner.com/newsroom/id/3616417.

[Ge09] Gentry, Craig: Fully homomorphic encryption using ideal lattices. In: Proceedings of the 41st annual ACM symposium on Symposium on theory of computing - STOC '09. ACM Press, pp. 169–169, 2009.

[Ke08] Kepa, Krzysztof; Morgan, Fearghal; Kosciuszkiewicz, Krzysztof; Surmacz, Tomasz: Serecon: A secure dynamic partial reconfiguration controller. In: Symposium on VLSI, 2008. ISVLSI'08. IEEE Computer Society Annual. IEEE, pp. 292–297, 2008.

[KGS17] Knodel, Oliver; Genssler, Paul R.; Spallek, Rainer G.: Migration of Long-running Tasks Between Reconfigurable Resources Using Virtualization. SIGARCH Comput. Archit. News, 44(4):56–61, January 2017.

[KS15] Knodel, O.; Spallek, R. G.: Computing Framework for Dynamic Integration of Reconfigurable Resources in a Cloud. In: 2015 Euromicro Conference on Digital System Design. pp. 337–344, Aug 2015.

[Le11] Lee, Moon Sung: On the sparse subset sum problem from Gentry-Halevi's implementation of fully homomorphic encryption. IACR Cryptology ePrint Archive, 2011:567, 2011.

[Me11] Mell, Peter; Grance, Tim et al.: The NIST definition of cloud computing. 2011.

[Mo14] Moore, Ciara; O'Neill, Maire; O'Sullivan, Elizabeth; Doroz, Yarkin; Sunar, Berk: Practical homomorphic encryption: A survey. In: Circuits and Systems (ISCAS), 2014 IEEE International Symposium on. IEEE, pp. 2792–2795, 2014.

[PD11] Paral, Zdenek; Devadas, Srinivas: Reliable and efficient PUF-based key generation using pattern matching. In: Hardware-Oriented Security and Trust (HOST), 2011 IEEE International Symposium on. IEEE, pp. 128–133, 2011.

[Pu14] Putnam, A.; Caulfield, A. M.; Chung, E. S.; Chiou, D.; Constantinides, K.; Demme, J.; Esmaeilzadeh, H.; Fowers, J.; Gopal, G. P.; Gray, J.; Haselman, M.; Hauck, S.; Heil, S.; Hormati, A.; Kim, J. Y.; Lanka, S.; Larus, J.; Peterson, E.; Pope, S.; Smith, A.; Thong, J.; Xiao, P. Y.; Burger, D.: A reconfigurable fabric for accelerating large-scale datacenter services. In: 2014 ACM/IEEE 41st International Symposium on Computer Architecture (ISCA). pp. 13–24, June 2014.

[SA03] Skorobogatov, Sergei P.; Anderson, Ross J.: Optical Fault Induction Attacks. In (Kaliski, Burton S.; Koç, çetin K.; Paar, Christof, eds): Cryptographic Hardware and Embedded Systems - CHES 2002: 4th International Workshop Redwood Shores, CA, USA, August 13–15, 2002 Revised Papers. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, pp. 2–12, 2003.

[SD07] Suh, G Edward; Devadas, Srinivas: Physical unclonable functions for device authentication and secret key generation. In: Proceedings of the 44th annual Design Automation Conference. ACM, pp. 9–14, 2007.

[SH07] Schmidt, Jörn-Marc; Hutter, Michael: Optical and em fault-attacks on crt-based rsa: Concrete results. 2007.

[SW12] Skorobogatov, Sergei; Woods, Christopher: Breakthrough Silicon Scanning Discovers Backdoor in Military Chip. In (Prouff, Emmanuel; Schaumont, Patrick, eds): Cryptographic Hardware and Embedded Systems – CHES 2012: 14th International Workshop, Leuven, Belgium, September 9-12, 2012. Proceedings. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, pp. 23–40, 2012.

[Th84] Thompson, Ken: Reflections on trusting trust. Communications of the ACM, 27(8):761–763, 1984.

[TM14] Trimberger, Steve; Moore, Jason: FPGA security: From features to capabilities to trusted systems. In: Proceedings of the 51st Annual Design Automation Conference. ACM, pp. 1–4, 2014.

[Tr07] Trimberger, Steve: Trusted design in FPGAs. In: Proceedings of the 44th annual Design Automation Conference. ACM, pp. 5–8, 2007.

[Tru] Trusted Computing Group. TPM Main Specification Level 2. https://trustedcomputinggroup.org/tpm-main-specification.

[ZQ14] Zhang, J.; Qu, G.: A survey on security and trust of FPGA-based systems. In: 2014 International Conference on Field-Programmable Technology (FPT). pp. 147–152, Dec 2014.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 543

Separated Random Number Generators for Virtual Machines

Clemens Fritzsch[1], Jörn Hoffmann[1], Martin Bogdan[1]

Abstract: High quality random numbers are essential for secure servers, alas virtual machines suffer from low entropy. The generation of hard to predict random numbers is a crucial problem. Moreover, existing solutions can pose severe security risks, e.g. by providing covert channels. This work illustrates basic ways to provide high entropy random numbers to virtual machines. Furthermore the security risks and effectiveness of the random number distributions are compared. Finally a new approach is presented. It improves the security of virtualized server environments by assigning each virtual machine a separate TRNG.

Keywords: Security Virtualization Random Numbers TRNG

1 Introduction

The security of server infrastructure is a mayor issue. Especially due to the fact that the average cost of a data breach is estimated to be about $ 4 million [Po16]. As approximately 80 % of the workload on x86 servers are processed in virtualized server environments [BDW16], the security of virtual machines (VMs) attracted much attention.

A vital aspect of ensuring a high level of security is the generation of high entropy random numbers because they are an essential element of cryptography. Since server applications obtain their random numbers from interfaces provided by the server operating system (e.g. /dev/urandom under Linux), much research is focused on the internal random number generation of operating systems. Gutterman et al. showed that random numbers generated at boot time in low entropy environments can be predictable [GPR06]. That a virtual machine is a low entropy environment was proven by Fernandes et al. [Fe13].

Further, reset vulnerabilities are another typical problem of virtualized environments. Reset vulnerabilities arise when a VM is started multiple times from the same disk image or is reverted to a snapshot. As a result the VM has exactly the same state it had once before. Consequently, predicting the random numbers generated by the operating system is possible [Ev14]. Low entropy environments increase the possibility that predictable random numbers are generated. The common element of the problems mentioned above is the scarcity of sources for high entropy random numbers.

A common approach to provide high entropy random numbers is the use of a true random number generator (TRNG). A TRNG is a hardware device that generates random numbers

[1] Universität Leipzig, Abteilung Technische Informatik, Augustusplatz 10, 04109 Leipzig, Germany {fritzsch, jhoffmann,bogdan}@informatik.uni-leipzig.de

doi:10.18420/in2017_49

based on random physical processes like thermal noise or quantum phenomena. Nevertheless the integration of TRNGs in virtualized server environments proves to be challenging. Evtyushkin and Ponomarev demonstrated that sharing of TRNGs can open covert channels and weaken the isolation between VMs [EP16].

This paper presents an overview of the basic ways to provide high entropy random numbers to virtual machines. Furthermore it presents a new approach that improves the security of virtualized server environments by assigning each virtual machine an own, dedicated TRNG.

2 State of the Art in Random Number Distribution

The basic use case of random number distribution in virtualized server environments consists of multiple VMs, one hypervisor and at most one source of high entropy random numbers in form of a TRNG. Figure 1a shows an example without a TRNG; Figure 1b another including a TRNG. The task is to provide a sufficient quantity of suitable random numbers to each virtual machine. The hypervisors need for random numbers was not explicitly included as it is not different from the need of an additional VM. Practical applications can be modeled by combining multiple instances of the basic use case, for example to include multiple TRNGs or to access one TRNG in multiple ways.

2.1 Non-virtualized Behavior

Without any considerations regarding the generation of random numbers, the operating system inside a VM behaves as it had direct access to the hardware. It gathers random values from user interactions (e.g. via mouse or keyboard) or from the hardware (e.g. disk I/O or specific interrupts), in order to feed a pseudo-random number generator (PRNG) [GPR06; Sp17]. A PRNG is a deterministic algorithm that generates a large amount of seemingly random numbers from a given seed. A PRNG can't increase the entropy. But the generated numbers are hard to tell apart from true random numbers [La90, p. 124]. That way a small amount of random values with high entropy can be used to generate a large amount of sufficiently random numbers.

This approach crucially depends on the high entropy and unpredictability of the random values fed into the PRNG. Both attributes are hard to ensure in virtualized server environments. Since servers in general have fewer direct user interactions, they miss an important source of random values. This problem is exacerbated for virtual machines by the additional abstraction layer provided by the hypervisor. The quantity of the collected random values is deficient. While the quality of the generated random numbers remains high, the generation rate is very low inside a VM [Fe13]. Additionally, reset vulnerabilities can lead to highly predictable random numbers [Ev14].

2.2 Distribution by Hypervisor

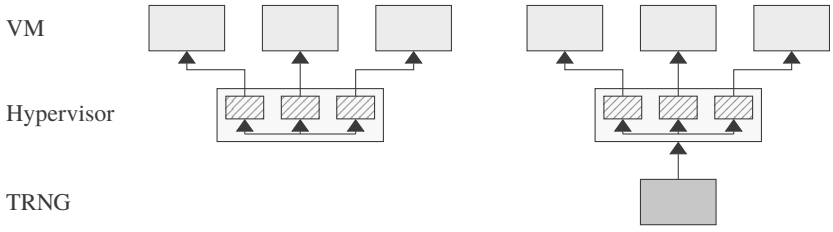


Fig. 1: The hypervisor provides random numbers for the VMs via virtual TRNGs. Either as it is (a) or supported by an actual TRNG (b).

As the hypervisor directly interacts with hardware, it can gather random values faster than a virtual machine [Fe13]. Furthermore, it can't be reset like the VMs. Therefore, the hypervisor is not affected by reset vulnerabilities. Hence, an approach to mitigate the slow gathering of suitable random values is to dispense the random numbers generated by the hypervisor to the VMs (Fig. 1a). To accomplish this, each VM is presented with a virtual random number generator (virtual RNG). A virtual RNG is a virtual device that injects the random numbers generated by the hypervisor into the associated VM. In addition, the hypervisor can limit the throughput of random numbers per virtual RNG in order to prevent covert channels. An example of this distribution model is the virtual RNG from the VirtIO framework [Sh13].

However, typically one hypervisor manages multiple VMs, each with the need for random numbers equivalent to a standalone server. Furthermore the hypervisor still lacks user interactions as source for random values. Hence, current best practice is to connect the hypervisor to a TRNG [Sh15] like shown in Figure 1b.

2.3 Shared TRNG

The need for random numbers is so ubiquitous that x86 processors implement two special instructions: RDRAND and RDSEED. The instructions provide access to a hardware TRNG[2] inside the CPU [Me14]. Due to the fact that these instructions are not restricted, each VM has access to the TRNG. This design constitutes a shared TRNG (Fig. 2a).

This way severe security problems are created. A single malicious program can deplete the supply of random numbers and either facilitate a denial of service or force the use of possibly predictable random numbers. Furthermore, the shared TRNG can be used as a covert channel for unrestricted communication between virtual machines. This subverts the isolation between them [EP16]. Evetyushkin and Ponomarev proposed to trap the execution

[2] RDSEED directly accesses the TRNG while RDRAND accesses a PRNG that is seeded by the TRNG.

of RDSEED and RDRAND into the hypervisor to regulate the access to the TRNG. However, this procedure constitutes distribution by hypervisor with TRNG (cf. 2.2).

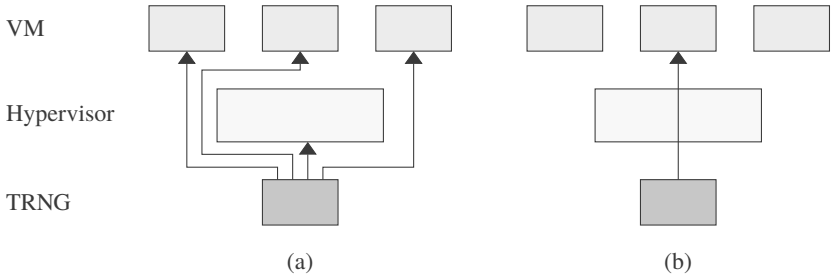


Fig. 2: Depicted are two possible integrations of a TRNG. (a) Shared TRNG: The hypervisor and the VMs obtain random numbers directly from a TRNG. (b) Dedicated TRNG: A TRNG is exclusively and directly accessed by one VM.

2.4 Dedicated TRNG

Modern virtualization hardware allows to dedicate a hardware device to a single virtual machine [AM16]. Data transfers from or to the device are handled by the VM via direct memory access (DMA). Therefore, high transfer rates can be achieved while minimizing the risk of accidentally leaking the data outside of the VM. Yet the application to TRNGs (Fig. 2b) is rare due to the fact that only a single VM is provided with enough high entropy random numbers while all other VMs remain depleted.

3 Proposition: Separated TRNGs

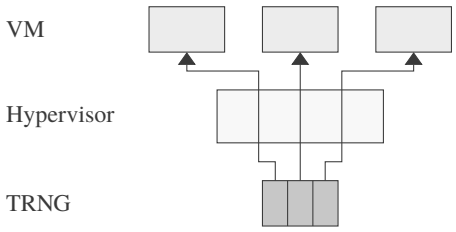


Fig. 3: Every VM has exclusive access to its own separated part of the TRNG.

In order to overcome the disadvantages of the discussed approaches, this work proposes the concept of separated TRNGs. Here a single hardware device is partitioned into multiple separated TRNGs, such that every VM gets its own TRNG (Fig. 3).

Separated TRNGs provide high transfer rates and minimal risk of data leakage as dedicated TRNGs while providing every VM with high entropy random numbers. Furthermore, the

separated TRNGs can't be used as a covert channel between VMs, because the VMs can only access their own TRNG.

The exclusive dedication of hardware to one VM limits the amount of VMs that can get a separated TRNG. To manage situations where more VMs are running than separated TRNGs can be provided, the actual use case has to be analyzed and an appropriate strategy has to be applied. E.g. a fall back system that dedicates one separated TRNG to the hypervisor and distributes the random numbers as described in 2.2.

The challenging task for the implementation is to ensure that the TRNGs are kept separated while using the same hardware device. This is due to avoid correlation of the generated random numbers and the rise of a covert channel. One critical aspect is their significant physical proximity which increases the risk of thermal or electrical coupling. Another critical aspect are shared resources like the power supply or the bus that connects the hardware device to the server. For example the capacity of the shared bus has to be managed carefully. The transfer rate of a separated TRNG has to remain independent from the usage of the others in order to avoid a covert channel.

4 Conclusion

This work presented an overview of the basic ways to provide random numbers to virtual machines. A basic usage model was defined. With this model state of the art concepts to distribute random numbers were evaluated regarding security risks and effectiveness. The distribution by the hypervisor with an additional TRNG was identified as a reasonable solution. It provides high entropy random numbers to VMs and avoids security breaches like the covert channel described by Evetyushkin and Ponomarev [EP16].

In oder to overcome further drawbacks, the concept of separated TRNGs was proposed. It compares favorable to the state of the art solutions. The proposed approach can provide better isolation and lower overhead than the distribution by the hypervisor. The separated TRNGs avoid covert channels that are a typical problem of shared TRNGs. While one dedicated TRNG is needed per VM, separated TRNGs can cover multiple VMs using only one hardware device. Therefore only one physical interface is required, e.g. a PCIe slot.

In further work, the proposed concept will be implemented and the achievable data rate as well as the additional workload of the hypervisor will be measured.

5 Acknowledgment

This work was funded by the German Federal Ministry of Education and Research within the projects Competence Center for Scalable Data Services and Solutions (ScaDS) Dresden/Leipzig (BMBF 01IS14014B) and EXPLOIDS (BMBF 16KIS0522K).

References

[AM16] AMD: I/O Virtualization Technology (IOMMU) Specification, AMD, 2016.

[BDW16] Bittman, T. J.; Dawson, P.; Warrilow, M.: Magic Quadrant for x86 Server Virtualization Infrastructure, Gartner, Inc., 2016, URL: https://www.gartner.com/doc/reprints?ct=160707&id=1-3B9FAM0.

[EP16] Evtyushkin, D.; Ponomarev, D.: Covert channels through random number generator: Mechanisms, capacity estimation and mitigations. In: Proceedings of the 2016 ACM SIGSAC Conference on Computer and Communications Security. ACM, pp. 843–857, 2016.

[Ev14] Everspaugh, A.; Zhai, Y.; Jellinek, R.; Ristenpart, T.; Swift, M.: Not-so-random numbers in virtualized Linux and the Whirlwind RNG. In: Security and Privacy (SP), 2014 IEEE Symposium on. IEEE, pp. 559–574, 2014.

[Fe13] Fernandes, D. A.; Soares, L. F.; Freire, M. M.; Inácio, P. R.: Randomness in virtual machines. In: Proceedings of the 2013 IEEE/ACM 6th International Conference on Utility and Cloud Computing. IEEE Computer Society, pp. 282–286, 2013.

[GPR06] Gutterman, Z.; Pinkas, B.; Reinman, T.: Analysis of the linux random number generator. In: Security and Privacy, 2006 IEEE Symposium on. IEEE, 15–pp, 2006.

[La90] Lagarias, J.: Pseudorandom number generators in cryptography and number theory. Cryptology and computational number theory 42/, pp. 115–143, 1990.

[Me14] Mechalas, J.: Intel Digital Random Number Generator (DRNG) Software Implementation Guide, 2.0, 2014.

[Po16] Ponemon Institute LLC: 2016 Cost of Data Breach Study: Global Analysis, Ponemon Institute LLC, 2016, URL: https://www.ibm.com/security/data-breach.

[Sh13] Shah, A.: About Random Numbers and Virtual Machines, 2013, URL: http://log.amitshah.net/2013/01/about-random-numbers-and-virtual-machines/, visited on: 04/23/2017.

[Sh15] Shah, A.: Red Hat Enterprise Linux Virtual Machines: Access to Random Numbers Made Easy, 2015, URL: http://rhelblog.redhat.com/2015/03/09/red-hat-enterprise-linux-virtual-machines-access-to-random-numbers-made-easy/, visited on: 04/23/2017.

[Sp17] Spelvin, G.; Mackall, M.; Georget, L.; Mavrogiannopoulos, N.: random(7), 4.10, 2017, URL: http://man7.org/linux/man-pages/man7/random.7.html.

Blended Museum: Neue Formen der medialen Kulturvermittlung

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 551

Blended Museum: Neue Formen der medialen Kulturvermittlung

Daniel Klinkhammer[1] und Harald Reiterer[1]

Die Gesellschaft für Informatik (GI) beschäftigt sich im Rahmen der Initiative Grand Challenges der Informatik mit den großen Aufgaben der Informatik für die kommenden Jahre und Jahrzehnte. Eine der fünf spezifizierten „Grand Challenges" ist das Digitale Kulturerbe. Damit verbunden sind zwei zentrale Herausforderungen: Wie können virtuelle Objekte angemessen präsentiert und zugänglich gemacht werden und wie lässt sich das digitale Kulturerbe dauerhaft bewahren?

Die Präsentation und Zugänglichkeit ist eng verknüpft mit einer weiteren „Grand Challenge", der allgegenwärtigen Mensch-Computer Interaktion. Bei dieser „Grand Challenge" stehen verständliche und selbsterklärende Nutzung im Vordergrund. Bei der Präsentation von digitalen Kulturgütern finden neue intuitive Interaktionskonzepte, die dem Paradigma der Blended Interaction folgen, Einsatz; die interaktive Wissensvermittlung erfolgt hier durch die Verschneidung (Blend) von realweltlicher Ausstellung und digitaler Präsentation (z.B. Augmented & Virtual Reality).

Der Workshop: „Blended Museum: Neue Formen der medialen Kulturvermittlung" widmet sich diesen Grand Challenges und versucht das Spektrum der Digitalisierung von Kulturgütern ganzheitlich zu erfassen. Hierbei fokussiert sich der Workshop nicht nur auf die mediale Präsentation, sondern umfasst auch neue Methoden der Erschließung, Archivierung und Analyse von Kulturgütern.

[1] Universität Konstanz, Fachbereich Informatik und Informationswissenschaft, AG Mensch-Computer Interaktion, http://hci.uni-konstanz.de, daniel.klinkhammer@uni-konstanz.de, harald.reiterer@uni-konstanz.de

doi:10.18420/in2017_50

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 553

Blended Museum

Daniel Klinkhammer und Harald Reiterer[1]

Abstract: Innerhalb der Bildungsinstitution Museum entstehen durch den Einsatz von Informations- und Kommunikationstechnologien (IuK) neue Möglichkeiten der Informationsvermittlung. Im Blended Museum wird versucht, virtuelle und reale Präsentationsformen miteinander zu vermischen. Dies ermöglicht hybride Vermittlungsstrategien, die neue und vor allem vielfältigere Besuchererfahrungen erlauben, als dies mit konventionellen Hilfsmitteln möglich ist. Aus dem Ansatz des Blended Museum lassen folgende Forschungsschwerpunkte ableiten, welche in diesem Beitrag näher betrachtet werden: Gestaltung einer einheitlichen Informationsarchitektur, Vermischung von realen Objekten und virtuellen Inhalten, soziale Interaktion, personalisierte Inhalte, Rollen der externen Wissensvermittlung und interdisziplinärer Gestaltungsprozess.

Keywords: Museum, Vermittlungsstrategien, Virtuelles Museum, Szenographie, Mensch-Computer-Interaktion, Besuchererfahrung

1 Einleitung

Lernen und der Erwerb von Wissen in modernen Wissensgesellschaften findet nicht nur in formalen Bildungseinrichtungen, sondern auch innerhalb von Institutionen statt, die einen informalen Bildungsanspruch erheben. Eine dieser Institutionen ist das Museum, in der das Sammeln, Bewahren, Erforschen und Ausstellen auf die Vermittlung von Bildung abzielt [IC06]. Ausgehend von den ausgestellten authentischen Objekten rückt die zeitgemäße Vermittlung von Wissen in den Mittelpunkt des Museums. Damit ein Objekt verstanden werden kann, muss es in einen dem Besucher nachvollziehbaren Zusammenhang gebracht werden. Zur Bildung eines solchen Ausstellungskontextes werden meist klassische Hilfsmittel wie Texttafeln, Schaubilder, Audioguides, etc. herangezogen, die den Besucher jedoch auf eine passive Empfängerrolle beschränken. Diese Techniken bzw. Hilfsmittel zur Bildung eines Ausstellungskontextes sind Bestandteil der Vermittlungsstrategie [Wo05]. Der Einsatz von Informations- und Kommunikationstechnologien (IuK) bietet durch das Charakteristikum der Interaktivität neue Möglichkeiten, den Besucher in die Vermittlungsstrategie einzubinden und ihm eine aktive Produktion subjektiver Bedeutung zu ermöglichen.

Die Gesellschaft für Informatik (GI) adressiert diese Thematik im Rahmen der Initiative „Grand Challenges der Informatik“ [GI14]. Eine der fünf spezifizierten „Grand

[1] Universität Konstanz, Fachbereich Informatik und Informationswissenschaft, AG Mensch-Computer Interaktion, http://hci.uni-konstanz.de, daniel.klinkhammer@uni-konstanz.de, harald.reiterer@uni-konstanz.de

doi:10.18420/in2017_51

Challenges“ ist das Digitale Kulturerbe. Damit verbunden sind zwei zentrale Herausforderungen: Wie können virtuelle Objekte angemessen präsentiert und zugänglich gemacht werden und wie lässt sich das digitale Kulturerbe dauerhaft bewahren? Die Präsentation und Zugänglichkeit ist eng verknüpft mit einer weiteren „Grand Challenge“, der allgegenwärtigen Mensch-Computer Interaktion [GI14]. Bei dieser „Grand Challenge“ stehen verständliche und selbsterklärende Nutzung von IT-Systemen im Vordergrund.

Die Bildungsinstitution Museum steht somit vor der Herausforderung der Realisierung neuartiger interaktiver Wissensvermittlungsstrategien. Hierbei spielt der Einsatz innovativer medialer Präsentationsformen eine wichtige Rolle, jedoch bedingt dieser Einsatz eine grundlegende Digitalisierung des Erschließungsprozesses. So stehen beispielsweise bei der Erschließung von Kulturgütern neue Möglichkeiten der Datenerfassung (z.B. 3D Scan) zur Verfügung. Die Speicherung dieser heterogenen Objektdaten stellt neue Anforderungen an die Archivierung bzw. an die Multimediadatenbanksysteme. Hierbei entsteht auch die Herausforderung wie Objekte untereinander verknüpft werden können, um eine objektbasierte Exploration bestmöglich zu unterstützen. Liegt ein solches innovatives Archivierungssystem vor, können auf diesem algorithmische Analysen durchgeführt werden, die zur Erkenntnis neuer Zusammenhänge zwischen den Objektdaten führen und wiederrum selbst als Grundlage für neue Arten der Wissenspräsentation dienen können.

Eine interaktive Wissenspräsentation innerhalb einer Ausstellung ist aber nicht nur als Solitär zu betrachten, sondern sollte in ein ganzheitliches Ausstellungskonzept eingebettet sein. Dieses umfasst die Gestaltung des realen Ausstellungsraums und sollte auf einem umfassenden szenographischen Konzept basieren. Hierbei sind die digitalen Medien nur ein Instrument der Szenographie [AB11]. Weitere Instrumente wie Grafik, Klang und Licht müssen mit diesem in Einklang gebracht werden um ein umfassendes Besuchererlebnis zu erzielen.

2 Der Ansatz des Blended Museum

Der Einsatz digitaler Systeme innerhalb der Bildungsinstitution Museum gliedert sich in eine interne und in eine externe Nutzung. Die interne Nutzung von IuK erweitert das Spektrum musealer Präsentationsformen. Dem Besucher können zur begleitenden Vermittlung multimediale Informationen in Form einer Kombination aus Texten, Ton, 2D/3D-Grafiken, Videos und Animationen dargeboten werden. Neben den vielfältigen Darstellungsformen, die aufgrund ihrer größeren Anschaulichkeit zu einer Verbesserung der Behaltensleistung beitragen, kann vor allem durch die Interaktion der Besucher stärker in den Vermittlungsprozess involviert werden. Die interne Nutzung bietet somit neue Möglichkeiten der Erweiterung des „klassischen“ Museums, welches sich traditionell-definitorisch auf die begriffliche Einheit von Gebäude und Inhalt bezieht [Wo05].

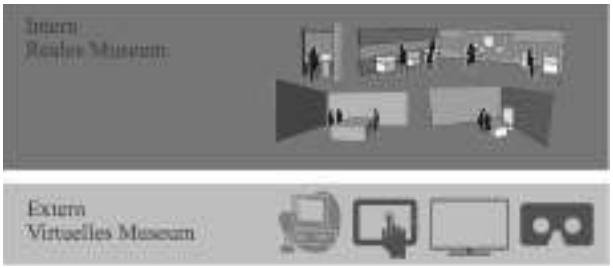


Abb. 1: Interne und externe Nutzung von IuK im Museum

Die externe Nutzung von IuK ermöglicht hingegen einen ortsunabhängigen Zugriff auf Museumsinhalte, z.B. über das Internet. Diese neuartige Form der Zugänglichkeit wird meist als virtuelles Museum bezeichnet. Treinen (1997) beschreibt die externe Nutzung als einen Weg, Objekte und ihre Kontexte in interaktiven Netzwerken zu präsentieren [Tr97]. Die oft rein informativen Museums-Homepages setzen jedoch diese Idee der Abbildung von Netzstrukturen, welche der Idee des Museums folgen, nicht um. Wenn neben der Nutzung zur Öffentlichkeitsarbeit weitergehende Museumsinhalte angeboten werden, erfolgt der Zugriff meist in der Form von archivierenden Museumsdatenbanken, deren Nutzung aufgrund der mangelnden Informationsaufbereitung jedoch meist einer kleinen hochinformierten Gruppe von FachnutzerInnen vorbehalten ist. Das Potenzial einer der heterogenen Besuchergruppe gerechten externen Präsentation von Museumsinhalten wird somit momentan oft noch nicht ausgeschöpft. Strategien zur Vermittlung von Wissen beziehen sich meist nur auf das reale Museum. Im Ansatz des Blended Museums wird versucht, durch die gezielte Integration von externer und interner Nutzung von IuK die bestehende Form der Vermittlung von Wissen zu erweitern bzw. neu zu gestalten. Somit ergibt sich folgende Definition:

> *Durch den integrierten Einsatz von Informations- und Kommunikationstechnologien und die Vermischung des virtuellen mit dem „klassischen" Museum entsteht das Blended Museum, welches vielfältige Besuchererfahrungen (Visitor Experience) ermöglichen soll.*

Zur Erreichung dieses Zieles können IuK auf verschiedene Weise beitragen. Im Bereich des virtuellen Museums und von interaktiven Anwendungen innerhalb des realen Museums kann „Visitor Experience" vor allem als „User Experience" betrachtet werden. Hierunter ist ein ganzheitlicher Ansatz bei der Entwicklung interaktiver Produkte zu verstehen, welcher nicht nur klassische Aspekte des Usability Engineerings, wie hohe Gebrauchstauglichkeit (Usability), umfasst, sondern auch versucht, weniger formale Aspekte wie Spaß, hedonische Qualitäten [HB03] oder Ästhetik [TH05] zu berücksichtigen.

Während sich die „User Experience" vornehmlich auf die Gestaltung interaktiver Produkte beschränkt, ist zur Erreichung einer „Visitor Experience" zusätzlich noch der gezielte Einsatz der IuK zur Motivationsförderung innerhalb des musealen Vermittlungsprozesses von besonderer Bedeutung. Der Museumsbesuch dient weder einer

rationalen Zweckerfüllung noch der Durchführung einzelner extrinsisch motivierter Rechercheaufgaben. Er ist vielmehr durch die intrinsische Motivation des Besuchers zur Wissensvermehrung, zur Unterhaltung und zur Sammlung neuer Erfahrungen begründet. Daher ist der Einfluss motivationaler Faktoren auf das Lernen des Besuchers von höchster Bedeutung [FD92]. Die Motivation des Besuchers beeinflusst das Verhalten innerhalb des Museums in Bezug auf die Selektion der Lernobjekte, die Bereitschaft sich mit den Lerninhalten auseinanderzusetzen und die Persistenz des Lernvorgangs. Aus diesem Verhalten resultiert ein Maß von Lernerfahrung und Zufriedenheit des Besuchers [PB02]. Das Ausmaß von Erfahrungen, die bei einem Museumsbesuch gesammelt werden ist somit abhängig vom Verhalten bzw. von der aktiven Teilnahme des Besuchers. So rückt die Aktivitätssteigerung des Besuchers durch den Einsatz von IuK in den Mittelpunkt der Betrachtung.

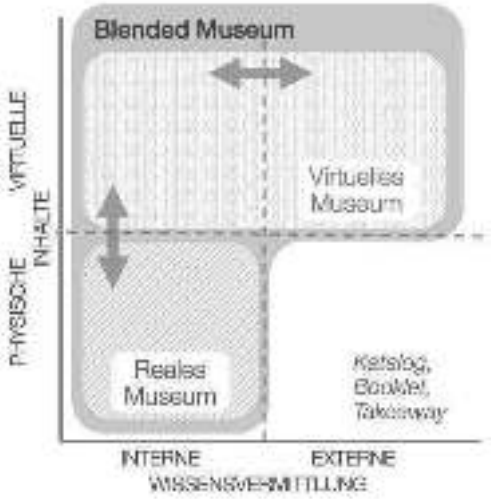


Abb. 2: Das Konzept des Blended Museum

Die obige Abbildung 2 fasst das Konzept des Blended Museums noch einmal zusammen. Das „klassische“ reale Museum vermittelt Wissen durch die Vermischung von realen Objekten und digitalen Information. Reine virtuelle Inhaltsvermittlung ist letztlich nur vom Vermittlungsmedium abhängig. So könnte die Präsentation spezifischer Inhalte bei einer internen und externen Wissensvermittlung auf unterschiedlichen Geräten stattfinden (z.B. intern: Tabletop; extern: Tablet). Die Grenzen zwischen den Definitionen des „realen“ und „virtuellen“ Museum verschwimmen somit mehr und mehr; daher haben wir uns für die Begrifflichkeit „Blended Museum“ entschieden. Wir sehen das Blended Museum als Möglichkeit der Auflösung klassischer Strukturen. Letztlich bietet das Blended Museum einen interaktiven, digitalen Wissensraum, welcher intern und extern mittels verschiedenartiger interaktiver Devices erfahren werden kann.

Aus dem Ansatz des Blended Museum lassen sie einige interessante

Forschungsschwerpunkte ableiten auf welche wir nun folgend kurz eingehen.

2.1 Gestaltung einer einheitlichen Informationsarchitektur

Damit der Besucher Museumsinformationen kontextualisiert innerhalb und außerhalb des realen Museum erfahren kann, ist es nötig, bei beiden Arten des Zugangs ein einheitliches Informationsdesign (z. B. Informationsarchitektur, Datenmodellierung) zu verwenden. Unter der Nutzung von Technologien wie beispielsweise eines Content Management System (CMS) (Abbildung 3) können die virtuell und real präsentierten Informationen zu einem ganzheitlichen Wissensraum zusammengeführt werden und intern bzw. extern zugänglich gemacht werden. Hierfür können eine Vielzahl von interaktiven Devices zum Einsatz gelangen (z.B. Smartphone, Tablet, Tabletop, Head Mounted Display, Großbildschirme aber auch herkömmliche Laptops oder PCs). Bei der Gestaltung der Informationspräsentation haben die Methoden und Techniken sowie die Erkenntnisse der Forschungsdisziplin Mensch-Computer Interaktion einen großen Einfluss. Daher spielen die Ergebnisse der „Grand Challenge: allgegenwärtige Mensch-Computer Interaktion“ [GI14] hier eine wichtige Rolle.

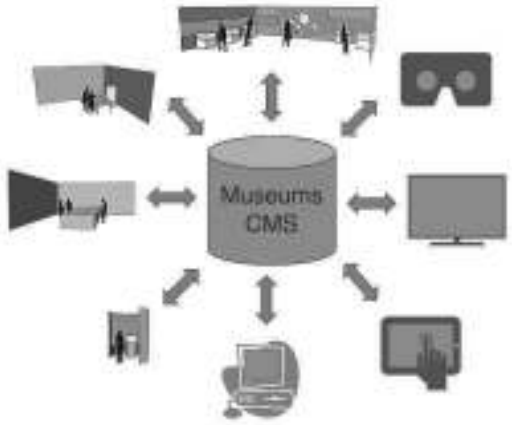


Abb. 3: Content Management System

2.2 Vermischung von realen Objekten und virtuellen Inhalten

Innerhalb der internen Wissensvermittlung steht die Integration medialer Präsentationsformen vor der Aufgabe die realen, authentischen Objekte in einen digitalen Wissensraum einzubetten. Ausgangspunkt sollten dabei aufgrund der authentischen Lernerfahrungen die realen Objekte sein. Diese Verknüpfung der physikalischen Welt mit digitalen Informationen ist Gegenstand der Forschungsrichtung „Gegenständliche Interaktion“ (Tangible Interaction) [IU97]. Physikalische Objekte dienen dabei zur

Repräsentation und gleichzeitigen Steuerung von digitaler Information.

Die Haupteigenschaften der Interaktion von gegenständlichen Benutzerschnittstellen sind die haptische Direktheit [Br99], d.h. die direkte Manipulationsmöglichkeit durch physikalische Objekte, welche als Schnittstelle zwischen Mensch und Computer fungieren. Diese gegenständlichen Benutzerschnittstellen können sehr gut mit Konzepten der *Augmented Reality* [SH16] kombiniert werden.



Abb. 4: Potter's Wheel - Ausstellung Tell Genderes[2]

Ein Beispiel für eine gegenständliche Installation zeigt Abbildung 4. Zu sehen ist hier eine interaktive Vitrine, die drei aufgestellte Tonscherben eines Megarischen Bechers virtuell um eine 3D Rekonstruktion (Augmented Realtiy) erweitert. Bedient wird diese Installation durch Drehen eines großen Rades, welches eine Analogie zur klassischen Töpferscheibe darstellt. Somit kann sich der Benutzer durch einfache Interaktion innerhalb der Narration, die abwechselnd virtuelle und reale Elemente hervorhebt, vor und zurückbewegen.

Bei der gegenständlichen Interaktion können die physikalischen Objekte auf unterschiedliche Weise mit einer digitalen Repräsentation gekoppelt werden. Hierbei bietet sich der Einsatz neuer technologischer Entwicklungen aus dem Bereich *Augmented & Virtual Reality Interaction* an. Hier wird ein großes Potenzial gesehen, da zum einem das klassische Objekt mit seiner Aura für sich stehen kann, es aber andererseits bei Bedarf digital um weiterführende Informationen und Narrationsstränge erweitert werden kann.

Abbildung 5 zeigt eine solche *Augmented Reality* Installation. Ausgehend von einer raumübergreifenden Bodenkarte werden auf Stelen an den entsprechenden geographischen Positionen Ruinen in Form von 3D-Drucken platziert. Mittels eines Tablets und Techniken aus dem Bereich Augmented Reality ist es nun möglich diese Ruinen virtuell zu vervollständigen und einzelne Stadien der Zerstörung vergleichend zu betrachten. Weiterhin hat der Besucher die Möglichkeit vertiefende historische und architektonische Informationen aufzurufen.

[2] http://www.tell-genderes.de



Abb. 5: Augmented Reality Installation - Ausstellung: Rebuild Palmyra[3].

2.3 Soziale Interaktion

Die Kommunikation zwischen den Besuchern wird im realen Museum bei der Gestaltung von Vermittlungsstrategien meist vernachlässigt. Dies wird beim weit verbreiteten Einsatz von Audio Guides besonders deutlich da der Besucher, durch den Kopfhörer abgeschottet, kaum eine Möglichkeit hat, mit anderen Besuchern in Kontakt zu treten. Doch gerade der soziale Kontext eines Ausstellungsbesuches ist entscheidend für die Dauer der Auseinandersetzung, das kommunikative Verhalten und die Intensivität der Zuwendung zu Objekten [Wo05]. So trägt die Kommunikation unter den Besuchern auch zu einer Steigerung der „Visitor Experience“ bei. Gerade Museumsbesuche erfolgen oft in Gruppen (z.B. Familien, Schulklassen, Freunde) und sollten derartige Gruppenkonstellation bei der Wissensvermittlungsstrategie explizit berücksichtigen.

Um eine soziale Interaktion innerhalb des realen Museums zu fördern bietet sich der Einsatz kooperationsunterstützender Medien an. Als ein Beispiel sind hierbei interaktive Tische (Tabletops) zu nennen.

[3] http://rebuild-palmyra.de



Abb. 6: Kinetischer Tabletop in der Ausstellung Tell Genderes[4]

Abbildung 6 zeigt einen kinetischen Tabletop, welcher im Vergleich zu berührungsempfindlichen interaktiven Tischen seine Form in der vertikalen Achse verändern kann. Mittels verbauter Aktuatoren kann eine geographische Topologie dargestellt und die Veränderung im Laufe der Zeit verfolgt werden. Diese Installation stieß auf großes Interesse und es konnten zahlreiche soziale Interaktionen am Tisch beobachtet werden.

2.4 Personalisierte Inhalte

Ein Lernerfolg innerhalb eines Ausstellungsbesuches kann dann erzielt werden, wenn der Besucher an vorhandene Wissensstrukturen anknüpfen kann. Ist dies nicht der Fall, entsteht ein „visitor-exhibit gap“ [Sc95], bei dem der Besucher, bedingt durch fehlendes Wissens, keine Bedeutung aus den präsentierten Objekten konstruieren kann. Mittels des Einsatzes von IuK können den Besuchern auf unterschiedlichen Ebenen inhaltliche Anknüpfungspunkte an ihre vorhandenen Wissensstrukturen angeboten werden. Eine Vermittlung auf unterschiedlichen Informationsebenen kann zum einem direkt am Objekt wie beispielsweise in Abbildung 5 zu sehen oder wiederrum an kollaborationsunterstützenden Geräten angeboten werden. Abbildung 7 zeigt einen interaktiven Tabletop bei dem neben einer berührungsempfindlichen Oberfläche eine Personenerkennung mittels Distanzsensoren verbaut ist. Diese ermöglicht eine Erkennung des Besuchers und bietet ihm daraufhin einen individualisierbaren Bereich zur Informationsexploration an.

[4] http://www.tell-genderes.de



Abb. 7: Interaktiver Tabletop - Ausstellung Fernbeziehung[5]

Der in Abbildung 7 gezeigte interaktive Tisch diente innerhalb der Ausstellung „Fernbeziehung“ als zentrales Informationsmedium, bei dem alle Informationen zu den ausgestellten Objekten an einer Stelle zusammengeführt wurden. Der Besucher konnte hierbei das virtuelle Pendant zu den ausgestellten realen Objekten in seinen persönlichen Bereich ziehen und verschiedene Informationsebenen und Narrationsstränge explorieren. Weiterhin wurde auch eine soziale Interaktion gefördert, indem Querverweise zwischen den ausgewählten Objekten dargestellt wurden.

Durch einen personalisierten Informationszugang mittels IuK ist es möglich, dem Besucher detailliertere Betrachtungsvorschläge anzubieten, die an seine bisherige Erkundung der Museumsinhalte anknüpfen. So ist es ihm möglich, auf individuellen Pfaden das Museum zu erleben. Weiterhin kann dem Besucher durch eine personalisierte Informationsspeicherung die Möglichkeit gegeben werden, das bisher Betrachtete zu reflektieren und zusätzliche mit seinen Informationen zusammenhängende Themen virtuell und real zu explorieren.

2.5 Rollen der externen Wissensvermittlung

Eine Wissensvermittlung außerhalb des realen Museums kann innerhalb des Vermittlungsprozesses zu unterschiedlichen Zeitpunkten eingesetzt werden; beispielsweise kann es von den Besuchern zur Vorbereitung auf den realen Museumsbesuch verwendet werden. Dazu bedarf es, dass die im virtuellem Museum durch Narration und/ oder individueller Navigation durchlaufenden Wege im realen Museum weiterverfolgt werden können. Das virtuelle Museum kann neben der Vorbereitung auch eine Nachbereitung des realen Museumsbesuches ermöglichen. Dies bedeutet wiederum, dass die physisch, im realen Museum, verfolgten Wege auch nach dem Besuch im digitalen Wissensraum nachvollzogen und weiterverfolgt werden können.

[5] http://hci.uni-konstanz.de/fernbeziehung/



Abb. 8: Booklet - Ausstellung Tell Genderes

Die obige Abbildung zeigt eine Möglichkeit der Nachbereitung eines Ausstellungsbesuches. Innerhalb der Ausstellung „Tell Genderes“ erhielten die Besucher ein Booklet in dem neben den Exponaten ausliegende QR-Tags eingeklebt werden konnten. Somit konnte sich der Besucher Objektverweise in sein Sammelheft (Booklet) einkleben und durch Einscannen des Tags weiterführende Informationen zu den Exponaten nach dem Besuch auf dem Medium seine Wahl aufrufen.

Dem Gestaltungsprinzip der einheitlichen Informationsarchitektur folgend, wurden auch die innerhalb der Ausstellung auf Tablets präsentierten Inhalte als Web-Apps[6] zur Verfügung gestellt. Somit wurde dem Besucher eine Option der Vor- und Nachbereitung ermöglicht.

2.6 Interdisziplinärer Gestaltungsprozess

Die bisher aufgeführten Forschungsschwerpunkte sind zum einem theoretische Natur wurden aber auch durch praktische Beispiele verdeutlicht. Die Realisierung dieser Beispiele erfolgte im Rahmen von Ausstellungen in denen diese zu finden waren. Diese Ausstellungen wurden mittels eines kooperativen Lehrprojektes realisiert. Die Fachbereiche Geschichte und Informatik der Universität Konstanz sowie Architektur und Kommunikationsdesign der HTWG Konstanz entwickelten dazu in den vergangenen Jahren ein gemeinsames Mastermodul zum Thema „Mediale Ausstellungsgestaltung“.

Hierbei liegt der Fokus auf der Vermittlung der richtigen methodischen Vorgehensweise [AB11] zur Umsetzung eines interdisziplinären Gestaltungsprozesses, welcher für die Gestaltung interaktiver medialer Räume unabdingbar ist. Innerhalb des zweijährigen Mastermoduls werden Ausstellungen von Grund auf konzipiert und realisiert. Hierbei übernehmen die Historiker die Rolle der Kuratoren, die für die inhaltliche Ausgestaltung federführend sind. Die Architekten analysieren räumliche Voraussetzungen und entwerfen neuartige Raum- und Einrichtungskonzepte basierend auf den inhaltlichen Schwerpunkten. Die Kommunikationsdesigner befassen sich mit der Gestaltung von Schriften und Grafiken für analoge und digitale Medien und erstellen somit ganzheitliche Raumeindrücke. Die Informatiker entwickeln neue Interaktionskonzepte für zum Teil selbst entwickelte Ein- und Ausgabegeräte. Hierbei arbeitet nicht jede Fachdisziplin für

[6] http://tell-genderes.de/webdoc/

sich, sondern die Studenten bilden interdisziplinäre Teams und lernen somit die Sichtweise der anderen Disziplinen kennen. Resultat dieser Kooperationen sind beeindruckende Ausstellungen, die sich durchaus mit Realisierungen professioneller Ausstellungsbüros messen können. Vor allem in Bezug auf die interaktiven Medien gehen die umgesetzten Ausstellungen über bisherig bekannte Konzepte hinaus und erlauben somit einen Blick in die Zukunft der Ausstellungsgestaltung. Die folgende Abbildung zeigt ein Ausstellungskonzept, welches innerhalb des Moduls von Studenten realisiert wurde. Die Umsetzung dieses Konzepts konnte von Juni bis September 2017 in Konstanz besucht werden.



Abb. 9: Raumansichten - Ausstellung Rebuild Plamyra[7]

3 Fazit und Ausblick

Das Konzept Blended Museum bietet sowohl aus Forschungsperspektive als auch aus Sicht der Lehre vielfältige Möglichkeiten. Die Forschung im Bereich Mensch-Computer Interaktion bezieht sich hierbei auf die Entwicklung neuer Interaktionskonzepte und Ein- und Ausgabegeräte, die nicht nur als einzelne interaktive Installationen zu sehen sind, sondern ganzheitlich im Gesamtkonzept verankert sind. Weiterhin bietet die Institution Museum einen interessanten Raum für „in-the-wild“ Evaluationen; so können die innovativen Konzepte unter realen Bedingungen ausprobiert und deren Entwicklung vorangetrieben werden. Neben der Forschungsdisziplin Mensch-Computer Interaktion sind bei der Umsetzung des Konzeptes des Blended Museums auch weitere Fachrichtungen der Informatik von Bedeutung. Zum einem ist die Erstellung einer einheitlichen Informationsarchitektur eine besondere Herausforderung, zum anderen

[7] http://rebuild-palmyra.de

versprechen moderne Analysemethoden neue Erkenntnisse über Zusammenhänge von Objekten.

Aus der Sicht der Lehre bietet das Konzept großes Potenzial. Wir sind aufgrund unserer bisherigen Erfahrungen mit dem Mastermodel „Mediale Ausstellungsgestaltung“ der Überzeugung, dass ein Blended Museum nur interdisziplinär realisiert werden kann. Hierfür eine Grundlage innerhalb der Ausbildung zu schaffen ist ein übergeordnetes Ziel, welches einen entscheidenden Beitrag zur zukünftigen Realisierung interaktiver Ausstellungen leisten kann.

Durch verschiedenartige Anfragen und Rückmeldungen konnten wir in den vergangenen Jahren einen deutlichen Interessenanstieg an der Thematik beobachten. Das gewachsene Interesse führte zur Motivation diesen ersten Workshop zum Thema „Blended Museum“ im Rahmen der GI-Jahrestagung 2017 zu veranstalten. Hierbei wird versucht das Spektrum der Digitalisierung von Kulturgütern ganzheitlich zu erfassen. Daher fokussiert sich der Workshop nicht nur auf die mediale Präsentation, sondern umfasst auch neue Methoden der digitalen Erschließung, Archivierung und Analyse von Kulturgütern.

Literaturverzeichnis

[AB11] Atelier Brücker: Szenography, Making spaces talk/ Projects 2002-2010, AV Edition 2011.

[FD92] Falk, J.; Dierking L.: The Museum Experience. Washington DC: Whalesback Books, 1992.

[GI14] GI, Gesellschaft füR Informatik E.V., Die Grand Challenges Der Informatik, https://www.gi.de/fileadmin/redaktion/Download/GI-Grand_Challenges-Broschüre2014.pdf (Letzter Zugriff: 26.06.2017)

[HB03] Hassenzahl, M.; Burmester, M.; Koller, F.: Attrak-Diff: Ein Fragebogen zur Messung wahrgenommener hedonischer und pragmatischer Qualität. In: Mensch & Computer 2003. Interaktion in Bewegung (Ziegler, J.; Hrsg. Szwillus, G.; Hrsg.) Stuttgart, Leibzig: B.G. Teubner, 2003.

[IC06] International Council of Museums: Code of Ethics for Museums. http://icom.museum/ethics.html (Letzter Zugriff: 26.06.2017), 2006.

[IU97] Ishii, H.; Ulmer, B.: Tangible bits: towards seamless interfaces between people, bits, and atoms. In: Proc. of the SIGCHI Conf. on Human Factors in Computing Systems, Atlanta GA 1997, ACM, New York, 1997, S. 234 – 241.

[PB02] Packer, J.; Ballantyne, R.: Motivational Factors and the Visitor Experience. A Comparison of Three sites. Curator 45 (2002) 183–198.

[SH16] Schmalstieg, D.; Hollerer, T.: Augmented Reality: Principles and Practice. Boston: Addison-Wesley, 2016

[Sc95] Screven, C.: Computer im Ausstellungswesen. In: Karlsruher Schriften zur

Besucherforschung; Heft 6 (1995); S. 9- 21.

[TH05] Tractinsky, N.; Hassenzahl, M.: Arguing for Aesthetics in Human-Computer Interaction. i-com 4 (2005) 66–68.

[TH05] Tractinsky, N.; Hassenzahl, M.: Arguing for Aesthetics in Human-Computer Interaction. i-com 4 (2005) 66–68.

[Tr97] Treinen, H.: Multimedia als kulturelles Werkzeug. Museumspädagogik aktuell 48 (1997) 37–40.

[Wo05] Wohlfromm, A.: Museum als Medium: Neue Medien in Museen, von Halem, Köln, 2005.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 567

Mediale Vermittlungsstrategien in der Szenografie

Eberhard Schlag[1]

Abstract: Szenografie ist eine Universaldisziplin, die mit Raum, Licht, Grafik, Ton und digitalen Medien Erlebnisräume schafft, in denen Wissen vermittelt und Besuchern verborgene Zusammenhänge intuitiv zugänglich gemacht werden können. Hierbei spielen mediale Vermittlungsstrategien eine zentrale Rolle. Eine dieser Strategien ist Information on demand: kontextualisierende Informationen werden hier nicht permanent angeboten, sondern nur dann, wenn der Besucher sie abruft. Dies ermöglicht sowohl eine auratische Objektpräsentation als auch gleichermaßen Kontextualisierung und Informationsvermittlung. Eine weitere Strategie sind personalisierte Devices, die zudem eine zielgruppenorientierte Ansprache von Besuchern ermöglichen. Darüber hinaus bieten VR- und AR-Technologien die Möglichkeit zur publikumswirksamen Darstellung komplexer wissenschaftlicher Zusammenhänge.

Keywords: Szenografie, Mediale Vermittlung, Information on demand, VR, AR

1 Szenografie

Szenografie ist eine Universaldisziplin, die mit Raum, Licht, Grafik, Ton und digitalen Medien Erlebnisräume schafft, in denen Wissen vermittelt und Besuchern verborgene Zusammenhänge intuitiv zugänglich gemacht werden. Szenografie geht davon aus, dass gestaltete Räume immer eine Aussage beinhalten, dass also bereits über deren Gestaltung Inhalte und Botschaften vermittelt werden können. Das zentrale Gestaltungsmittel der Szenografie ist deshalb das sogenannte „Raumbild“. Im Raumbild werden Inhalte zu Geschichten geformt und in eindrückliche, manchmal monumentale räumliche Gesten mit narrativer Wirkung verwandelt. Hierbei spielen mediale Vermittlungsstrategien eine zentrale Rolle.

[1] Atelier Brückner http://www.atelier-brueckner.com, eberhard.schlag@atelier-brueckner.com

doi:10.18420/in2017_52



Abb. 1: Zentraler Raum des „Universe of Particles“ des Besucherzentrums des CERN in Genf (Gestaltung Atelier Brückner). Aus dem Thema der Beschleunigung von Teilchen entsteht ein Raumbild aus kugelförmigen Ausstellungseinheiten, die eine Vielzahl von Informations- und Interaktionsmöglichkeiten bieten. Der Höhepunkt des Ausstellungsbesuchs ist ein multimediales, dynamisches Raumerlebnis, das den Urknall als Phänomen erfahrbar macht. Der Ausstellungsraum wird selbst zum Exponat. (Foto: Michael Jungblut)

2 Information on demand

Einem Ausstellungsprojekt können unterschiedliche Absichten und Inhalte zugrunde liegen. Die Spanne reicht von einer umfangreichen, klassischen Objektsammlung eines Kunst- oder kulturhistorischen Museums über thematische Ausstellungen, die oft ganz ohne Exponate auskommen müssen, bis zur Produktpräsentation als Mittel glaubhafter Markenkommunikation.

Im Kontext aktueller Ausstellungen haben wir es also mit zwei ganz unterschiedlichen Kategorien zu tun: mit vornehmlich objektbasierten Ausstellungen, in denen die Qualität und die Aura [Be36] der ausgestellten Exponate im Vordergrund stehen und mit thematischen Ausstellungen, bei denen es vornehmlich um die Darstellung komplexerer Zusammenhänge oder die Vermittlung von Wissen zu einem bestimmten Zusammenhang geht. Bei objektbasierten Ausstellungen sind die „Dinge“, also die Exponate, „Zeugen, die Informationen über Vergangenes zu geben vermögen. Sie sind, wie Krzysztof Pomian sie nennt, Semiophoren, also Zeichenträger die zwischen Gegenwart und Vergangenheit vermitteln. Pomian bezeichnet die Objekte eines Museums als Medien oder auch Mediatoren, also Kommunikationswerkzeuge zwischen

dem Sichtbaren und dem Unsichtbaren, zwischen der Materialität des Anschaubaren und der Immaterialität des Erinnerbaren“ [Ko07].

In dieser Ausstellungform geht es in erster Linie darum, die Dinge so zu präsentieren, dass sie Ihre Aura voll entfalten können, also unverstellt und nach Möglichkeit ohne zusätzliche Informationen in den Dialog mit dem Rezipienten treten können. Trotzdem besteht natürlich auch hier der Bedarf nach Informationsvermittlung, nach dem Kontext oder der Bedeutungsebenen des Objektes. Hier setzt die mediale Vermittlungsstrategie von „Information on Demand“ an: kontextualisierende Informationen werden nicht permanent angeboten, sondern nur dann, wenn der Besucher sie abruft. Dies kann auf unterschiedlichste Arten geschehen. Am besten eignen sich hierfür gesteuertes Licht oder Projektionen. Bei Information on demand sind die Objektpräsentation und der Ausstellungsraum nicht mehr wie bisher statisch, sondern dynamisch und passen sich den unterschiedlichen Bedürfnissen der Besucher an.



Abb. 2: In der neuen Dauerausstellung Homo, Natura, Terra des Landesmuseum Zürich (Gestaltung Atelier Brückner) werden die zentralen Objekte der Ausstellung zunächst als reine Artefakte präsentiert. Durch Berührung der Vitrine schaltet sich die Vitrinenrückwand opak und wird zur Projektionsfläche für kontextualisierende Inhalte. Die ausgestellten Objekte werden in eine Geschichte einbezogen und somit verständlich. (Foto: Daniel Stauch)



Abb. 3: In der Sonderausstellung Viking im National Museum of Denmark (Gestaltung Atelier Brückner) werden die Originalteile eines Schiffswracks von Zeit zu Zeit mit filmischen Sequenzen auf unterschiedlichen Projektionswänden vor und hinter dem Schiff kontextualisiert und die Geschichte des Schiffes für die Besucher intuitiv nachvollziehbar gemacht. (Foto: Michael Jungblut)

In einem weiteren Schritt können Informationen auch in unterschiedlichen Sprachen oder in unterschiedlicher Komplexität für unterschiedliche Zielgruppen (Kinder, Erwachsene, Experten, etc.) angeboten werden. Hierzu werden die Besucher z. B. mit RFID Devices ausgerüstet, welche die notwendigen Informationen enthalten. Sie können z.B. mit der Eintrittskarte kombiniert oder als Armband separat ausgegeben werden.



Abb. 4: Im Deutschen Dampflokmuseum in Neuenmarkt (Gestaltung Atelier Brückner) werden Informationen über eine codierte Eintrittskarte zugänglich gemacht. Unterschiedliche Profile geben zielgruppengerechte Informationen zu den Exponaten. (Foto: Michael Jungblut)

3 Personal Devices

Eine weitere Möglichkeit sind tragbare Devices wie Tablets, die multimediale Informationen oder sekundären Inhalt zu den Hauptexponaten vermitteln können. Sie eignen sich vor allem dann, wenn der Ausstellungsort selbst ein Exponat ist, also bspw. an Originalschauplätzen wie Dichter- oder Künstlerhäusern. Hier würde jede Form der physischen Erläuterung über Texttafeln oder fest installierte Medien sofort zur Veränderung des authentischen Ortes führen und damit die Aura des Ortes negativ beeinflussen.



Abb. 5: In Graceland, Memphis, USA, bekommen die Besucher ein Tablet als Ausstellungsführer der alle Räume, Ausstattungselemente und Originale im Raum erläutert und zudem kontextualisierendes Bild-, Film- und Audiomaterial zur Verfügung stellt. (Gestaltung Unified Field)

Bei thematischen Ausstellungen, insbesondere im technischen oder wissenschaftlichen Bereich ist das Bedürfnis nach Erklärung und Vermittlung oft noch viel größer. Hier sind die Zusammenhänge oft so komplex, dass sie ohne Erläuterung überhaupt nicht hergestellt werden können. Themen sind zudem oft für ein fachfremdes Publikum wenig attraktiv und benötigen Anreize, die zu einer Auseinandersetzung anregen. Es gibt Ausstellungen, die ganz ohne Exponate auskommen müssen. Hier spielt mediale Vermittlung eine ganz andere, viel weitreichendere Rolle. Sie kann Interesse wecken, Zugänge schaffen, Kontexte herstellen und Informationen so aufbereitet darstellen, dass sie unterschiedlichen Zielgruppen gerecht werden können.



Abb. 6: Im Parlamentarium, dem Besucherzentrum des europäischen Parlaments in Brüssel (Gestaltung Atelier Brückner) können die Besucher in 23 unterschiedlichen Sprachen interaktiv an Sitzungen des Parlaments teilnehmen und die Abläufe bis zur Entscheidungsfindung nachvollziehen. (Foto: Rainer Rehfeld)



Abb. 7: Im Stategrid Pavillon auf der Expo Shanghai (Gestaltung Atelier Brückner) erfahren die

Besucher in einem immersiven 720° Raum alles über die Energieproduktion und den Energietransport über große Distanzen in China. (Foto: Roland Halbe)

Eine besondere Bedeutung haben mediale Vermittlungsstrategien im Bereich der Rekonstruktion historischer Zusammenhänge. Gerade im Bereich historischer oder archäologischer Ausstellungen ist zwar sehr viel Wissen über die Lebenswelten der Menschen vorhanden, es fehlt aber an Möglichkeiten diese publikumswirksam und trotzdem wissenschaftlich korrekt darzustellen. Hier können Augmented Reality (AR) und Virtual Reality (VR) Technologien einen entscheidenden Beitrag zur Vermittlung leisten. Wo man z.B. bisher noch mit aufwändigen 1:1 Aufbauten von kleinen Teilen von steinzeitlichen Siedlungen versuchte, eine anschauliche Illustration der historischen Zusammenhänge zu erzeugen, können heute mit VR komplette Siedlungsanlagen dargestellt und darüberhinaus deren Veränderungen über die Zeit dokumentiert werden. Wo bisher nur Momentaufnahmen möglich waren, können nun größere Zusammenhänge hergestellt werden.



Abb. 8: In der Ausstellung „Das Gedächtnis des Sees“ während der Großen Landesausstellung 4000 Jahre Pfahlbauten, Bad Schussenried, 2016 (Gestaltung HTWG Konstanz, Sophie Ludigs und Jürgen Otterbach) konnten die Besucher eine auf der Basis jahrzehntelanger wissenschaftlicher Forschung entstandene detailgenaue Rekonstruktion der neolithischen Pfahlbausiedlung Hornstaad 1 erleben. Sie konnten den Wechsel der Jahreszeiten, des Wasserstandes und die Entwicklung der Siedlung bis zur Zerstörung durch einen Brand anhand einer 1:1-Rekonstruktion nachvollziehen. (Foto: Martin Maier)

In der näheren Zukunft werden AR Technologien weitere Möglichkeiten der Kontextualisierung von Schauplätzen und Exponaten ermöglichen und physische Medien wie Texte oder Informationstafeln überflüssig machen. Dies ist ein weiterer Schritt zur Stärkung der Aura von Originalen und der intuitiven Vermittlung von Inhalten.

Literaturverzeichnis

[AB11] Atelier Brücker: Szenography, Making spaces talk/ Projects 2002-2010, AV Edition 2011.

[Be36] Benjamin, W.: Das Kunstwerk im Zeichen seiner technischen Reproduzierbarkeit, Zeitschrift für Sozialforschung, 1936

[Ko07] Korff, G.: Museumsdinge: deponieren – exponieren. Köln, Böhlau 2007.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 577

Interaktion mit multimedialen digitalen Artefakten im Museumskontext – Ein Praxisbericht

Jens-Martin Loebel[1]

Abstract: Museen, Bibliotheken und Archive werden in hohem Maße von den durch die Digitalisierung ausgelösten gesellschaftlichen Umbrüchen und Veränderungsprozessen im Umgang mit Information, Bildung und Kultur beeinflusst. Die angereicherte und annotierte Bereitstellung historischer Software mittels Emulation ermöglicht einen je spezifischen Zugang zu den kulturellen Artefakten und erlaubt gleichzeitig verstärkt interaktive, partizipative und narrative Elemente einzusetzen. Es ergibt sich ein großes Potenzial für neue Formen der Mensch-Computer-Interaktion und individualisierte, explorative Wissensvermittlung. Die Ausführung und Bereitstellung im musealen Bereich stellt darüber hinaus weitere Anforderungen. Für eine multimediale Sonderausstellung im Filmmuseum Frankfurt wurde ein modulares Emulationssystem entwickelt und verschiedene Interfaceoptionen zur Nutzerinteraktion evaluiert. Die Ergebnisse werden zusammenfassend vorgestellt und die Notwendigkeit zum Aufbau einer Wissensdatenbank zu Schnittstellen und Best-Practice-Lösungen verdeutlicht.

Keywords: Langzeitarchivierung, Emulation, Computerspiele, Langzeitbewahrung, Museum, Mensch-Computer-Interaktion

1 Einleitung

Die Nutzung von Emulationstechniken zur Präsentation multimedialer Software in Gedächtnisorganisationen wie Museen und Bibliotheken hat in den vergangenen Jahren stark an Bedeutung gewonnen und rückt zunehmend in den Fokus von Forschung und Praxis. Insbesondere Museen, Bibliotheken und Archive werden in hohem Maße von den durch die Digitalisierung ausgelösten gesellschaftlichen Umbrüchen und Veränderungsprozessen im Umgang mit Information, Bildung und Kultur beeinflusst. Als Gedächtnisorganisationen des kulturellen Erbes übernehmen sie gesellschaftliche und kulturelle Aufgaben, die über eine reine Vermittlung von Kunst und Kultur hinausgehen.

Die angereicherte und annotierte Bereitstellung historischer Software mittels Emulation ermöglicht einen je spezifischen Zugang zu den kulturellen Artefakten und erlaubt gleichzeitig verstärkt interaktive, partizipative und narrative Elemente einzusetzen. Es ergibt sich ein großes Potenzial für neue Formen der Mensch-Computer-Interaktion und individualisierte, explorative Wissensvermittlung.

[1] Universität Bayreuth, Medienwissenschaft, Geschwister-Scholl-Platz 3, 95440 Bayreuth, loebel@uni-bayreuth.de

doi:10.18420/in2017_53

So führte die Deutsche Nationalbibliothek von 2014-2016 im Rahmen des Projekts „EMiL – Bereitstellung von Multimedia-Objekten durch Emulation“ eine großangelegte Pilotstudie zur automatisierten Bereitstellung von Emulationsumgebungen in den Lesesälen der Bibliothek durch (vgl. [St16]). Das Projekt wurde von der DNB positiv evaluiert und ein dauerhaftes Betriebskonzept entwickelt.[2]

Gleichzeitig stellt die unüberschaubare Anzahl an proprietären Daten- und Dateiformaten sowie sich verändernde Systemschnittstellen zur Nutzerinteraktion eine große Herausforderung dar. Digitale Daten müssen interpretiert werden, damit sie für Menschen in einer sinnlich wahrnehmbaren Form rezipiert werden können. Es müssen skalierbare Wege gefunden werden, sämtliche Komponenten eines Softwarestacks über Generationen von Rechner- und Softwaresystemen hinweg dauerhaft benutzbar zu halten.

Die Zugänglichmachung komplexer multimedialer digitaler Artefakte wie beispielsweise Computer- und Videospiele birgt dabei zusätzliche Anforderungen aufgrund ihres hohen Grads an Interaktivität und der Vereinigung vieler medialer Elemente, beispielsweise Bild, Ton, Video, 3-D. Zeitgleich rückt für Museen die Erhaltung des ursprünglichen Look-and-feel des Spiels und des Dispositivs aus Soft- und Hardware inklusive der Ein- und Ausgabegeräte in den Vordergrund.

Emulation als Softwaretechnik findet in der Informatik breite Anwendung und ist eine gut untersuchte Technik. Ursprünglich in den 1960er Jahren von IBM entwickelt, um alte Programme auf der neu eingeführten und nicht abwärtskompatiblen 360-Rechner-Architektur auszuführen (vgl. [Tu65]), ermöglichen reine Software-Emulatoren heutzutage, die temporale und technologische Kluft zwischen zwei Rechnersystemen zu überbrücken. Die Zugänglichmachung mittels Emulation ist essenziell, um den Charakter komplexer digitaler Objekte zu bewahren und eine authentische Wiedergabe zu ermöglichen (vgl. [Lo14]).

2 Musealer Kontext

Die Ausführung und Bereitstellung im musealen Bereich stellt darüber hinaus weitere Anforderungen. So muss darauf geachtet werden, dass eine einfache Wartung und Austauschbarkeit einzelner Komponenten sowie eine Robustheit der Hardware unter Dauerbenutzung möglich sind. Bei historischen Systemen ist dies naturgemäß nicht gegeben, da die Verfügbarkeit an Originalteilen stark eingeschränkt sein kann. Es müssen daher Best-Practice-Lösungen gefunden werden, welche eine wartbare Kombination von migrierten und originalen Schnittstellen zur Verfügung stellen. Einerseits darf die historische Aufführungspraxis im Sinne der Wissensvermittlung nicht zu stark verfälscht werden, andererseits müssen Interaktionskonzepte auf den Museumsbetrieb abgestimmt sein (vgl. [Lo14], S. 35).

[2] Vgl. Projektwebsite unter http://www.multimedia-emulation.de.

Für die Sonderausstellung „Film und Games. Ein Wechselspiel“ des Deutschen Filmmuseums Frankfurt am Main[3] haben wir ein solches modulares Emulationskonzept entwickelt und getestet.

Die Ausstellung soll eine eingehende vergleichende Auseinandersetzung mit den beiden Medien bieten und aufzeigen, in welchem Tempo sich viele Computerspiele in den vergangenen Jahren in Richtung Film entwickelt haben. Wechselwirkungen zwischen Film und Games sollen erstmals im Ausstellungskontext untersucht und Besuchern vermittelt werden, wie sich Filme und Spiele ästhetisch und thematisch beeinflussen.

Dazu war es notwendig Software aus 40 Jahren Computergeschichte und diversen Hardwaregenerationen mittels Emulation über ein einheitliches Interface zur Verfügung zu stellen. Für die Ausstellung wurden spezielle Stationen entwickelt, an denen Besucher Spielszenen interaktiv spielen können. Neben der Betrachtung einer vergleichenden Filmsequenz ist die direkte Ansteuerung bestimmter Szenen von Spielen verschiedenen Alters und unterschiedlichster Systeme notwendig. Konzept und technische Herausforderungen wurden zunächst in einem Prototyp eruiert und die Ergebnisse übernommen (vgl. [Lo15]).

Dazu war einerseits die Entwicklung eines Auswahlmenüs bzw. Systems erforderlich, das den Anforderungen an Ausstellungsbedingungen Rechnung trägt und sowohl robust als auch einfach wartbar ist. Andererseits wurde eine Möglichkeit benötigt, direkt gewisse Spielsequenzen (*Save States*) menügesteuert anspringen zu können, um so eine individuelle Interaktion zwischen Film, Spiel und Besucher herzustellen, die eine tiefergehende Auseinandersetzung mit den Artefakten zulässt.

Neben den üblichen ortsbedingten Anforderungen an die verwendete Hardware wie Platzbedarf, Geräuschentwicklung, Wärmeabfuhr, lag daher das Augenmerk auf der Entwicklung eines Ladesystems von „Save States“ für diese Spiele, eingebettet in ein Auswahlmenü mit Webservice und Skriptsteuerung.

Grundgedanke des Prototyps war die Entwicklung eines Frameworks, das die Machbarkeit des Konzepts zeigt und eine ausbaufähige Architektur bereitstellt. Der Prototyp richtet sich an die Kuratoren der Ausstellung, die durch ein „Ausprobieren“ des Systems Entscheidungen zur Einbettung in die Ausstellung, zu Anpassungen und zum finalen Design des Systems treffen können. Der Fokus liegt auf dem Schnellstart ohne angepasstes Design bzw. Corporate Identity oder Einbettung in ein lauffähiges Gesamtsystem im Gegensatz zu einem Einsatz als Produktivumgebung. Das gesamte System basiert auf Open-Source-Komponenten und wird kostenlos zur Nachnutzung durch andere Museen zur Verfügung gestellt.[4]

Um die Spielesequenzen zu laden wurden Open-Source-Emulatoren angepasst und in das Skriptsystem des Webservice eingebunden. Ein direktes Laden und Ausführen

[3] Vgl. Ausstellungswebsite http://www.filmundgames.de.
[4] Software verfügbar unter http://bitgilde.de/de/.

bestimmter, durch die Kuratoren vorgegebener, Speicherstände für Besucher wird somit möglich. Zudem ist es möglich Filmsequenzen mit Spielabläufen zu synchronisieren und ab einem gewissen Zeitpunkt Besuchern zu erlauben, vom Film abweichende Handlungsstränge im Spiel auszuprobieren und so explorativ alternative Narrationspfade zu finden.

Das Spielen wird dabei zeitlich limitiert. Die Dauer wird vom Kurator vorher festgelegt und in das Auswahlmenü einprogrammiert. Nach Ablauf der festgelegten Zeit wird das Spiel beendet und es erscheint wieder das Auswahlmenü. So ist das System von mehreren Besuchern nacheinander benutzbar.

Das System stellt ein HTML5-/JavaScript-Auswahlsystem bereit, welches in einem angepassten Firefox (im Kioskmodus) ausgeführt wird. Durch Auswahl werden von einem Webservice mit Skriptsystem bestimmte Speicherstände geladen und/oder ein Videoplayer mit einer bestimmten Filmsequenz auf einem zweiten Bildschirm gestartet. Nach Ablauf einer festgelegten Zeit werden alle Subsysteme beendet und das Auswahlmenü erscheint erneut.

3 Evaluation der Interfacegestaltung

Für die verschiedenen Spieleinstallationen in der Ausstellung ist es notwendig, die gestarteten Emulatoren bzw. Spiele durch Besucher in einheitlicher Form (und unabhängig vom Spiel) wieder beenden zu können. So soll eine Rückkehr zum Auswahlbildschirm ermöglicht und das System für andere Besucher wieder in den Ausgangszustand versetzt werden. Die gezeigten Spiele sollen so auf die gewünschte Spielszene reduziert und der Besucherfluss gelenkt werden.

Es kristallisierten sich die Konzepte eines durch Besucher zu bedienenden „Buttons“ oder einer zeitbasierten Limitierung des Spiels heraus. Die genaue Ausgestaltung verschiedener Button-Lösungen soll im Folgenden näher im Bezug auf ihre Usability diskutiert werden. Aus unseren Tests haben sich für die Button-Lösung zwei weitere Interaktionsmöglichkeiten ergeben.

Für den Prototyp wurde die beschriebene zeitbasierte Limitierung des Spiels umgesetzt, um ein schnelles Testen der verschiedenen Menüoptionen und Interaktionskonzepte zu ermöglichen. Dies stellte sich technisch als robuste und System- / Spiel-unabhängige Lösung heraus. Die Zeit kann vom Kurator/-in dabei frei bestimmt werden.

Das Konzept hat sich bei Tests als sinnvoll für kurze oder wohldefinierte Spielsequenzen erwiesen. Bei komplexeren Interaktionen oder bei zwischenzeitigem Besucherwechsel erscheint ein fester Abbruch jedoch nicht wünschenswert. Hier wäre alternativ eine Lösung zu bevorzugen, welche die Kontrolle über den Spielabbruch den Besuchern überlässt. Die zeitbasierte Lösung sollte allerdings als Fallback oder in bestimmten Situationen zusätzlich erhalten bleiben.

Es soll ein – wie auch immer gearteter – Knopf zur Verfügung gestellt werden, mit dem das Spiel beendet werden kann. Folgende Interaktionskonzepte haben wir evaluiert:

Die Verwendung von Emulatoren ermöglicht es, die Originalsoftware um einblendbare Metadaten und Zusatzfunktionen anzureichern. Denkt man dieses Konzept weiter, so ließe sich diese Technik verwenden um einen virtuellen Button als Screen-Overlay einzubauen, der sich über dem Spielgeschehen einblendet. Um dies zu realisieren, muss sich ein unabhängiges Overlay über den Spielbildschirm legen. Dies erfordert ein tieferes Eingreifen in den Emulator. Gleichzeitig muss ein Overlay-„Widget“ gefunden werden, das mit dem Webservice kommunizieren kann, um die entsprechende Aktion auszulösen.

Hierbei muss jedoch darauf geachtet werden, dass ein solches Overlay von Besuchern nicht als diegetisches Spielelement wahrgenommen wird, da dies die Interaktion mit dem Spiel zu stark verfälschen würde.

In den auf Ubuntu Linux basierenden Stationen kommt der Window Manager „ComPiz“ zum Einsatz. Dieser bietet die Möglichkeit, Fenster in verschiedenen Ebenen (Layer) anzuordnen. Um Fenster über allen anderen anzuzeigen gibt es die so genannten „raise above“- und „full screen“- Optionen. Diese Optionen werden beim systemeigenen Widget-System „Screenlets“ (ähnlich MacOS X Dashboard) ebenfalls verwendet. Als Basis für ein vereinheitlichtes Overlaysystem wurde das „WebframeScreenlet“ verwendet, welches eine Website anzeigen kann. Dieses wurde angepasst, um eine Website des zentralen Glassfish-Applikationservers verkleinert anzuzeigen. Auf dieser befindet sich ein „zurück“-Pfeil. Durch Klick auf den Pfeil wird ein entsprechender Befehl an den gesendet. Weitere Nutzerinteraktion wurde unterbunden und der Fensterrahmen des Widgets unsichtbar geschaltet. Um zu erreichen, dass sich das Widget über andere Fenster legt, wurde mittels des CompizConfig Session Manager (ccsm) in den normalen Bildschirmaufbau auf Betriebssystem-Ebene eingegriffen, und durch entsprechende Regeln das Widget auf eine höhere Zeichenebene gehoben. Zusätzlich kam das System-Programm „wmctrl“ zum Einsatz, um das Widget im System auf Vollbild-Ebene zu verankern.

Tests mit anderen Emulatoren und Spielen zeigten jedoch, dass eine Spiel-unabhängige Lösung nicht möglich ist, da viele Spiele ihrerseits sehr hardwarenah programmiert sind bzw. in das System eingreifen. Dies gilt besonders für den Vollbildmodus vieler Spiele. Werden z. B. direkt die 3D- oder Hardwarebeschleunigungsfunktionen der Grafikkarte angesprochen, ist es nicht möglich, ein Overlay über den Spielbildschirm zu legen. Eine generische Lösung erscheint daher nicht praktikabel, sondern ist immer vom gewählten Emulator und weiteren Komponenten des verwendeten Softwarestacks abhängig.

Unabhängig von Machbarkeitsproblemen hat sich das Interaktionskonzept eines Overlays selbst als das viel schwerwiegendere Problem herausgestellt. Ein Overlay beeinflusst die Interaktion der Besucher mit dem Spiel, so dass Spielfluss und Immersion erheblich gestört werden. So verdeckt das Overlay Teile des Spiels, mit denen die Besucher unter Umständen interagieren müssen. Auch wird das spielfremde Widget als

störend wahrgenommen, da die Interaktion mit diesem in der Regel nicht dem Interaktionskonzept des Spiels entspricht. Wir raten daher aus technischen, medientechnischen und pragmatischen Gründen von solchen Lösungen ab.

Alternativ wurde die Belegung einer bestimmten Taste auf der Tastatur zur Auslösung der Beenden-Aktion über den Webservice getestet. Die Taste wäre dadurch bei jedem Spiel gleich und unabhängig vom Geschehen auf dem Bildschirm. Wird die Taste betätigt, wird das Video unterbrochen und das Abspielprogramm beendet. Es erscheint wieder der Auswahlbildschirm. Das Verankern einer Taste, so dass ein Aufruf systemweit und Applikations-unabhängig funktioniert, erfordert ebenfalls ein Eingreifen in das Betriebssystem. Es wurde mit den Programmen „xkeybind“ und „Ubuntu Shortcuts“ gearbeitet, um die Funktionstaste mit der Ausführung eines Skripts aus der entwickelten Skript-Engine zu belegen.

Bei weiteren Tests hat sich jedoch gezeigt, dass die systemweite Belegung einer Taste von Spielen überschrieben werden kann. Viele Spiele belegen die Tastaturtasten mit Spielefunktionen neu oder fordern beim Betriebssystem die exklusive Nutzung des Tastaturtreibers an, damit Spieler nicht versehentlich eine Betriebssystemspezifische Funktion auslöst, die den Spielfluss unterbricht. Wenn die Taste vom Spiel selbst zur Steuerung benötigt wird ist es nicht möglich, durch Tastendruck das Spiel zu beenden. Eine generische Lösung ist daher mit dieser Variante ebenfalls nicht pragmatisch möglich.

Des Weiteren kann nicht davon ausgegangen werden, dass an jeder Spielstation im Museum eine Tastatur vorhanden ist oder das Anbringen einer solchen praktikabel ist. Oftmals werden von Spielen nur ein Joystick oder eine Maus zur Interaktion verlangt. Es soll den Besuchern aber eine einheitliche HCI-Schnittstelle zur Verfügung gestellt werden. Da eine generische technische Lösung nicht möglich scheint, wird von dieser Lösung ebenfalls abgeraten.

3.1 Externe Hardware-Buttons

Ein vom Spielsystem gänzlich unabhängige Möglichkeit bildet die Verwendung eines externen Eingabegerätes / Hardware-Buttons. Dieser kann über eine einfache Schaltung beispielsweise an den USB-Port des Rechners angeschlossen werden. Über entwickeltes System-Programm, kann der Knopfdruck über den USB-Bus abgefragt und ein entsprechendes Ereignis ausgelöst werden. Durch die Verwendung eines spielexternen Kanals ins Systems werden die Limitierungen von diegetischen Interfaces umgangen und es kann eine generische Lösung zur Verfügung gestellt werden. Die Nutzung eines dedizierten externen Buttons wurde positiv evaluiert und bietet ein für Besucher leicht identifizierbares und wiederkehrendes Merkmal.

Für eine derartige Lösung liegen zudem bereits Umsetzungen in anderen Ausstellungen vor. Beispielsweise verwendet das Computerspielemuseum Berlin eine solche Lösung über Hardware-Buttons. Diese sind in der ständigen Ausstellung aus stilistischen

Gründen in einen „Competition Pro Star“ Joystick integriert. Das Funktionsprinzip ist aber das Gleiche. Die Buttons im bzw. des Joysticks werden benutzt um eine Videoauswahl und –steuerung zu realisieren.

Des Weiteren konnten wir mit einem ähnlichen Hardwarekonzept für das Jüdische Museum Berlin (entwickelt als RFID-basierte Hardwareerweiterung für die tragbaren Multimedia-Guides) weitere positive Erfahrungen gesammelt werden (vgl. [LK12]).

4 Ausblick

Neuartige Nutzungsmöglichkeiten digitaler Artefakte im Museumskontext bedingen oftmals dedizierte Nutzerschnittstellen um, um eine vereinheitlichte Interaktion mit den Exponaten zu ermöglichen. So lässt sich das Nutzererleben durch die Kuratoren bei der Ausstellungsplanung gezielt beeinflussen.

Solche Schnittstellen stellen Museen ebenfalls vor neue Herausforderungen bzgl. Wartbarkeit und Usability. Zudem zeigt sich, dass für die komplexe Interaktion mit digitalen Unterhaltungsmedien entwickelte Steuerungssysteme (wie moderne Force-Feedback Joypads) nicht nur gewisse Eingewöhnung bei Besuchern bedürfen, sondern auch ergonomisch auf diese abgestimmt sein sollten. So steht die Nutzbarkeit bestimmter Joypads beispielsweise in direktem Bezug zur Handgröße des Benutzers (vgl. hierzu [BM13]). In einem Ausstellungskontext ist es jedoch nicht bzw. nur bedingt möglich, individualisierte Hardwareschnittstellen zur Verfügung zu stellen.

Obwohl dedizierte Hardware Vorsteile durch neue Interaktionsmöglichkeiten erlaubt, liegen bis jetzt wenig generalisierte Praxisevaluationen vor. Es müssen Best-Practice-Lösungen entwickelt und Steuerungssysteme im Hinblick auf Usability, User Experience und Handhabbarkeit im Museumskontext evaluiert werden. Der Aufbau einer Wissensdatenbank für solche Schnittstellen fehlt bis jetzt und stellt ein Desiderat dar.

Literaturverzeichnis

[BM13] Brown, M. A.; MacKenzie, I. S.: Evaluating Video Game Controller Usability as Related to User Hand Size. In: Proceedings of the International Conference on Multimedia and Human-Computer Interaction - MHCI 2013, International ASET, Inc., Ottawa, Canada, S. 114.1-114.8. Verfügbar online unter: http://www.yorku.ca/mack/mhci2013-114.pdf

[LK12] Loebel, J.-M.; Kuper, H.-G.: RiB-Kit (RFID-in-a-Box) – Eine mobile RFID-Lösung für neuartige Interaktionskonzepte. In: Sieck, J. (Hrsg.): Kultur und Informatik: Aus der Vergangenheit in die Zukunft,Verlag Werner Hülsbusch (vwh), Boizenburg, 2012, S. 187-196.

[Lo14] Loebel, J.-M.: Lost in Translation – Leistungsfähigkeit, Einsatz und Grenzen von Emulatoren bei der Langzeitbewahrung digitaler multimedialer Objekte am Beispiel

von Computerspielen. Verlag Werner Hülsbusch (vwh), Glückstadt, 2014. Verfügbar online unter: www.translation-gap.de.

[Lo15] Loebel, J.-M.: Interaktion mit Games mittels Emulation im musealen Kontext. In: Lenhardt, E.; Rauscher, A.; et al. (Hrsg.): Film und Games: Ein Wechselspiel.:Bertz und Fischer, Berlin, 2015. ISBN: 978-3-86505-241-4, S. 230-233.

[St16] Steinke, T. et al.: Project EMiL - Emulation of Multimedia Objects. In: iPRES 2016. Proceedings of the 13th International Conference on Digital Preservation. Swiss National Library, Bern, 2016. Handle 11353/10.502812, S. 282f. Verfügbar online unter: https://phaidra.univie.ac.at/detail_object/o:502812

[Tu65] Stuart G. Tucker: Emulation of large systems. In: Communications of the ACM, Band 8, Nr. 12, 1965, S. 753–761.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 585

Digitale Erschließung in Museen – die Nutzung von imdas pro in den baden-württembergischen Landesmuseen

Jutta Dresch[1] und Christof Mainberger[2]

Abstract: Die digitale Objektdokumentation, dargestellt anhand des Badischen Landesmuseums, bildet den Link zwischen der realen Sammlung und innovativen, digitalen Prozessen im Museum. Jeweils spezifisch interpretiert folgt sie einem grundlegenden Schema und verwendet zur internen und externen Interoperabilität intensiv Normdaten. Das in Baden-Württemberg vom Bibliotheksservice-Zentrum zentral betriebene Museumsdokumentationssystem imdas pro erfüllt die Bedarfe der Museen als Objektdatenbank und bedient mittels zeitgemäßer Webschnittstellen als Komponente spezialisierte Anwendungen in den Abteilungen der Museen wie auch allgemeine Kulturportale.

Keywords: Museumsdokumentation, Digitalisierung, Normdaten, Baden-Württemberg, Staatliche Museen, Badisches Landesmuseum, imdas pro, Gemeinsame Normdatei, xTree

1 Einleitung

Die Basis jedes Museums ist seine einzigartige Sammlung, die es unter den Kultureinrichtungen überhaupt erst zum Museum macht und die es von anderen Museen und deren Sammlungen unterscheidet. Oft schon – z. B. durch fürstliches Sammeln – vor Jahrhunderten angelegt, werden Museumssammlungen über lange Epochen hinweg gestaltet und gepflegt. Die fünf originären Aufgaben des Museums – das Sammeln, das Bewahren, das Forschen, das Ausstellen und das Vermitteln – werden daher von jedem Haus im Hinblick auf die eigene Sammlung spezifisch definiert. So erlangt jedes Museum seinen unverwechselbaren Charakter.

Nachdem heute das Wort „Digitalisierung“ die Agenden des Bundes, der Länder und auch der Kommunen, die ja alle die typischen Träger der Museen sind, beherrscht, hat auch die Museen die Aufforderung erreicht, durch Computereinsatz und insbesondere im World Wide Web neue Dimensionen ihrer Arbeit zu erschließen. Dieser Auftrag erstreckt sich auf jede der fünf genannten Aufgaben und schreibt diese konsistent aus der analogen Welt ins Digitale fort und entdeckt in ihnen dabei – überhaupt erst durch die Digitalisierung ermöglicht – völlig neue, innovative Facetten. Originärer Bezugspunkt und Fundament bleibt jedoch die eigene Sammlung. Den Link zwischen Sammlung und digitalen Aktivitäten bildet die digitale Sammlungsdokumentation, die damit Grundlage und Treibstoff für alle digitalen Initiativen im Museum ist.

[1] Badisches Landesmuseum, Schlossbezirk 10, 76131 Karlsruhe, jutta.dresch@landesmuseum.de
[2] Bibliotheksservice-Zentrum Baden-Württemberg, Universität Konstanz, 78457 Konstanz, christof.mainberger@bsz-bw.de

doi:10.18420/in2017_54

2 Bedingungen der Digitalisierung in Museen

Museen taten sich in der Vergangenheit schwer, digitale Werkzeuge und Verfahren einzuführen. Dazu mag eine grundsätzlich auf „Bewahrung" orientierte Einstellung beigetragen haben, die auch der Ablösung über Generationen hinweg eingeübter und erfolgreicher Arbeitsweisen skeptisch gegenüberstand. Eine schmale finanzielle Ausstattung hält bis heute den Spielraum klein, wobei, da Museen in keiner „echten" Marktkonkurrenz zueinander stehen, Wettbewerb lediglich punktuell die Innovation beschleunigt.

Dennoch entstanden bereits früh beachtliche exemplarische Leuchttürme z. B. das virtuelle Museum „Karlsruher Türkenbeute"[3]– doch in der Breite ist die schiere Größe des Unterfangens in Relation zu den einsetzbaren Mitteln eher entmutigend: Im Badischen Landesmuseum in Karlsruhe (BLM) werden jährlich im Durchschnitt 10.000 Objekte in die Museumsdatenbank aufgenommen. Im Mai 2017, dem 17. Jahr der Datenerfassung, ist der aktuelle Stand ca. 166.500 Objektdatensätze und ca. 220.000 mit diesen verknüpften Bilddateien sowie wenige (Text-)Dokumente. Angesichts der geschätzten rund 500.000 Objekte hat das BLM noch viele Jahre vor sich, bis für den gesamten Bestand auch nur die Grunderfassung abgeschlossen ist. Es sei denn, so etwas wie ein Depotumzug mit dem Einsatz aller verfügbaren und zusätzlicher Mitarbeiter schafft die Notwendigkeit und damit auch die Arbeitskapazitäten, um in kurzer Zeit eine Masse an Objekte in die Hand zu nehmen und bei dieser Gelegenheit in der Objektdatenbank zu erfassen.

Typisch für Museen ist die fachliche Heterogenität ihrer Sammlungen: Ein Naturkundemuseum sammelt und erforscht z. B. Zoologie, Botanik, Geologie, Mineralogie, Paläontologie etc. Das BLM umfasst in seinen breitgefächerten Sammlungen 50.000 Jahre internationale Kunst- und Kulturgeschichte mit Objekten der unterschiedlichsten Gattungen aus Archäologie, Kunstgeschichte, Kunstgewerbe, Volkskunde und Numismatik. Auch kommunale Häuser vereinigen oft alle Sparten unter einem organisatorischen Dach. Alle genannten Disziplinen sind jeweils mit eigenen Communities und Methoden sowie selbstverständlich auch mit speziellen Softwarewerkzeugen, Datenformaten und nicht zuletzt mit unterschiedlichen Fachvokabularen ausgestattet.

Ein weiterer Aspekt ist, dass Museen nahezu ausschließlich Unikate verwahren, die jeweils eine individuelle Erfassung erforderlich machen. Hinsichtlich der Dokumentation der Erwerbung, der Objektgeschichte (Provenienz) und des Erhaltungszustandes gilt dies selbst für serielle Objekte wie Druckgraphik oder Münzen und Medaillen. Um einen Vergleich zu ziehen: Bibliotheken kooperieren seit langem bei der Katalogisierung, weil gleiche Bücher über viele Bibliotheken verbreitet sind und die Zusammenarbeit bei der Erschließung Synergieeffekte erzielt. Dazu wurden strikte formale Erfassungsregeln, Austauschformate, zentrale Datenbanken und Netzwerke entwickelt: Bibliotheken können andernorts erhobene Metadaten nachnutzen – im Printbereich zu über 95%, bei E-Books

[3] http://www.tuerkenbeute.de/ als Zusammenarbeit des Badischen Landesmuseums mit dem ZKM Karlsruhe.

praktisch ausschließlich.

Zur Digitalisierung ihrer Objektdokumentation starteten in den 1990er Jahren viele Museen mit einfachen, selbstentwickelten Datenbanken z. B. auf dBase-, auf Excel- oder später Access-Basis. Diese Lösungen waren oft von Einzelpersonen und deren Eigenbedarf getragen und wiesen eine entsprechend begrenzte Qualität und Nachnutzbarkeit auf.

Heute sind Objektdatenbanken als zentrale Werkzeuge der Museumsarbeit auf Universalität und Nachhaltigkeit ausgelegt: Im Zuge der Dokumentation sammlen sie die Erkenntnisse des Museums über seine Objekte an und sind ein enormer Wissensspeicher mit besten Recherchemöglichkeiten.

Das Angebot an Museumssoftware ist inzwischen breit gefächert. Es reicht von einfach zu bedienenden Systemen wie FirstRumos (Förderverein des Freilichtmuseums am Kiekeberg e.V., Rosengarten / Niedersachsen) und Primus2.0 (Landesstelle für Museumsbetreuung Baden-Württemberg), die sich an kleine, auch an ehrenamtlich geführte Museen richten, bis zu den großen Systemen Adlib (Axiell), MuseumPlus (Zetcom) und imdas pro (Joanneum Research).

Auch wenn Museen in der Vergangenheit wenig Anlass und Spielraum hatten, bei der Dokumentation ihrer Sammlungen gemeinsame Wege zu gehen, und sich insofern zahllose individuelle Verfahrensweisen ausgebildet haben, orientiert sich die museale Erschließung dennoch immer an den fünf eingangs erwähnten gemeinsamen, originären Aufgaben. Sie weist insofern ein allgemein gültiges Grundschema als „best practice“ auf, dem jede professionelle Museumsdokumentation folgt. Dieses Schema ist in der Museumskunde etabliert, wird national und international von den Fachgremien – z. B. des Deutschen Museumsbundes – fortentwickelt und ist in den einschlägigen Softwaresystemen implementiert.

Den Möglichkeiten dieses Beitrags geschuldet, sollen im Folgenden lediglich die wesentlichen Elemente dieses Grundschemas dargestellt werden.

3 Grundzüge der Objektdokumentation im Museum

Das Museum dokumentiert das Eigentum an einem Objekt im Inventarbuch – oder in der Objektdatenbank, wenn dieser Urkundencharakter zugesprochen wurde. Drückte sich in der analogen Objektdokumentation – also im Inventarbuch und auf den Erfassung im Detail dienenden Inventarkarten – durchaus der persönliche Stil und der individuelle Sachverstand des inventarisierenden Kurators aus, so ist es ratsam, diese in der Datenbank durch präzise Schreibregeln und durch die Verwendung von kontrollierten Vokabularen abzulösen, um Gleichartiges gleich zu dokumentieren und so das Recherchieren zu befördern. Dazu später mehr.

Wurden bzw. werden im herkömmlichen Inventarbuch die Objekte mehr oder weniger ausführlich beschrieben, so reduziert sich dies in der Objektdatenbank zunächst auf eine

Objektbezeichnung. Neben der Objektbezeichnung hat jedes Objekt eine **Inventarnummer,** die (sofern das Material dies zulässt) auf das Objekt aufgetragen wird[4]. Die Inventarnummer ist das wesentliche Erkennungsmerkmal des Museumsobjektes und, in Datenbankbegriffen gesprochen, der „Fremdschlüssel" des realen Objekts in seinen digitalen Metadaten. Die Inventarnummer wird daher auch z. B. in Dateinamen für zugeordnete Digitalfotos, Textdokumenten etc. verwendet. Sie dient ganz wesentlich zur museumsinternen Kommunikation über das Objekt.

Mit **Objektbezeichnung** und **Inventarnummer** (und wenigen datenbankspezifischen Pflichtfeldern, die automatisch beschrieben werden,) lässt sich bereits ein Datensatz anlegen. Zugegebenermaßen: er ist sehr rudimentär – aber: mit dieser grundlegenden Erfassung ist das Museumsobjekt dokumentarisch „im Spiel" und steht für die Arbeit im Museum weitaus besser zur Verfügung als zuvor. Alle weiteren Informationen können später nachgetragen werden.

Maße, Material und Verarbeitungstechnik können unmittelbar am Objekt abgelesen und in die Datenbank eingetragen werden. Für die Recherchefähigkeit sind auch hier präzise Schreibregeln und die Verwendung von kontrolliertem Vokabular ratsam.

Um das Objekt in seiner kultur- oder kunstgeschichtlichen Bedeutung zu erfassen, müssen über die Anschauung hinausgehende Informationen und/oder Kenntnisse ermittelt werden:

Wer hat es gemacht? Erfasst werden **Künstler** bzw. **Hersteller** (Personenstammdaten).

Wie heißt es? Erfasst werden **Titel** bzw. **Typenbezeichnung** bzw. **Indigene Bezeichnung** (bei Objekten fremder Kulturen, Textfelder).

Wo wurde es gemacht? Erfasst wird der **Herstellungsort** (Ortsthesaurus).

Bei archäologischen Objekten zudem: Wo wurde es gefunden? Erfasst wird der **Fundort** (Ortsthesaurus).

Wann wurde es gemacht? Erfasst wird die **Datierung** (Thesaurus).

Mehrere Textfelder sind vorgesehen für eine **Kurzbeschreibung** und die ausführlichere **Beschreibung** des Objektes, zur Erfassung des **Erhaltungszustandes**, für die **Wissenschaftliche Dokumentation** (zu der z. B. die Provenienzforschung gehört) etc.

Zur Steigerung des wissenschaftlichen Zugangs gehören weiterhin die **Verschlagwortung** (Thesaurus) und die Erfassung der **Publikationen** zum Objekt (Literaturhinweise als eigene Maske mit zahlreichen Feldern und Z39.50-Schnittstelle zur bibliothekarischen Verbunddatenbank des Südwestdeutschen Bibliotheksverbunds SWB).

Neben der Dokumentation aller objektspezifischen und wissenschaftlichen Daten ist die Erfassung aller Daten zur Verwaltung / **Administration** in der Objektdatenbank erforderlich.

[4] Üblich ist eine Inventarnummer aus Erwerbungsjahr und laufender Nummer (ggf. mit Unternummern)

Dazu gehören die Angaben zur **Erwerbung** eines Museumsobjektes: In mehreren

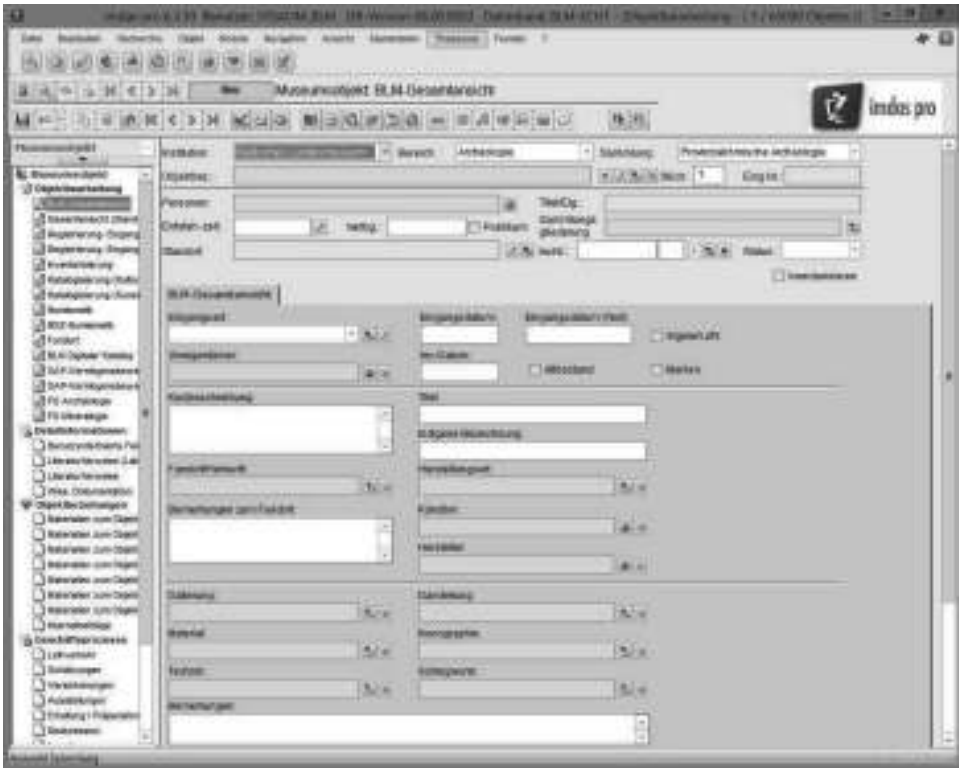


Abb 1: Gesamtansicht der Objektbearbeitung in imdas pro

Feldern der Objektdatenbank wird festgehalten, wann, wie, von wem und zu welchem Preis das Objekt erworben wurde. Erhoben werden also das Eingangsdatum (Datumsfeld), die Eingangsart (Stammdatenliste: Ankauf, Schenkung etc.), der Voreigentümer (Personenstammdaten) sowie der Kaufpreis (Wertetabelle).

Fundamental für den Umgang mit einem Museumsobjekt ist die **Standortverwaltung**. Hier wird in einer spezifischen Tabelle, die mit Hilfe von Stammdatenlisten und Schreibregeln die Depotstruktur des Museums abbildet, nicht nur der jeweils aktuelle Standort festgehalten, sondern über eine Historienfunktion, die zusätzlich automatisch Datumsfelder und Benutzer speichert, ein Bewegungsprofil des Objektes erstellt. Bar- bzw. QR-Codes schaffen die Verbindung zum physischen Magazin.

Zu den Museumsobjekten werden verschiedene digitale **Materialien und Dokumente** vorgehalten: Textdokumente, Fotografische Aufnahmen, Ton- und Filmdokumente. Sie alle können dem Objektdatensatz hinterlegt und damit katalogisiert werden. Insbesondere für Bilddateien ist die digitale Langzeitarchivierung zu organisieren und in der Datenbank zu dokumentieren. Über die Datenbank können Derivate in verschiedenen Auflösungen

bezogen werden.

4 Museumsdokumentation in Baden-Württemberg

Basierend auf dem eben beschriebenen Grundschema und der These, dass die Objektdokumentation in den Museen identisch gestaltet werden sollte, wurde in den 1990er Jahren durch das Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst in Baden-Württemberg die Einführung eines einheitlichen Museumdokumentationssystems für die elf Staatlichen Museen projektiert. Ziel war es, die Effizienz innerhalb der einzelnen Museen zu steigern, die Zusammenarbeit zwischen den Häusern zu ermöglichen, einen Überblick über alle Sammlungsgegenstände des Landes zu gewinnen sowie, damals schon, die Möglichkeit einer Online-Publikation von Museumsinformationen zu schaffen. Außerdem sollten Einsparungen durch einen zentralen Betrieb erreicht werden.

Nach mehrjähriger Vorarbeit wurde 1997 das Produkt „imdas pro“ des österreichischen Herstellers Joanneum Research als Softwarelösung ausgewählt und dann in einem zweijährigen Pilotprojekt im Staatlichen Museum für Naturkunde Stuttgart getestet. Nach der endgültigen Entscheidung für imdas pro wurde 2000 das Bibliotheksservice-Zentrum Baden-Württemberg (BSZ) mit dem Betrieb beauftragt. Das BSZ ist eine Einrichtung des Landes Baden-Württemberg, die eine der großen bibliothekarischen Verbunddatenbanken in Deutschland betreibt. Der produktive Einsatz von imdas pro in den baden-württembergischen Landesmuseen begann 2001.

Die beabsichtigte Einheitlichkeit entstand nicht: schon bei der Einführung schlossen sich drei Museen nicht dem Produkt, ein weiteres nicht dem zentralen Betrieb durch das BSZ an – allerdings haben sich mittlerweile große kommunale Museen aus Baden-Württemberg sowie ein thüringisches Museum der Kooperation angeschlossen. Als Utopie erwies sich, dass die Beteiligten in eine gemeinsame Datenbank arbeiten könnten. Zu unterschiedlich waren die Bedarfe an Datenstrukturen und die lokalen Geschäftsgänge, die diese Datenstrukturen unterstützen sollten, wichen ebenfalls stark voneinander ab. Immerhin: Dort, wo sie eingesetzt wird, ist die Anwendung heute fest in den Alltag der Museen integriert. Auch die Wirtschaftlichkeit wurde durch den Rechnungshof mehrfach bestätigt.

5 Imdas pro im BSZ

Imdas pro ist eine für den Desktop konzipierte Windows-Anwendung. Zur Datenhaltung wird eine relationale Datenbank eingesetzt, digitale Bilder und andere umfangreiche Binärdateien werden im Dateisystem vorgehalten. Im BSZ ist imdas pro auf acht virtuellen Terminalservern installiert und wird über eine Citrix-Plattform für die entfernte Nutzung in den Museen veröffentlicht; als Datenbankmanagementsystem verwendet das BSZ ein Oracle-DBMS, das Datenbankschema umfasst mittlerweile über 350 Tabellen.

Imdas pro organisiert seine einzelnen Funktionsbereiche in Masken, auf denen die Datenelemente zu einem Arbeitsvorgang zusammengestellt werden. Datensätze können über formularbasierte Recherchen selektiert werden. Sie können in Objektauswahlen zusammengestellt werden. Sowohl Masken als auch Objektauswahlen sind vom Nutzer bzw. Betreiber definier- und erweiterbar und bilden die Bezugspunkte für eine differenzierte Rechteverwaltung. Für den lokalen Bedarf ist auch die Erweiterung um benutzerdefinierte Felder möglich. Imdas pro erlaubt Massenänderungen und beinhaltet ein Medienmodul, über das digitale Assets verwaltet werden; weitere Module, z. B. das GIS-Modul spielen mehr bei der Nutzung im unmittelbaren Zusammenhang mit archäologischen Ausgrabungen, weniger in Museen eine Rolle. Problematisch ist ein integriertes Druckmodul, da es schwer handhabbar und der Komplexität des unterlegten Datenschemas nicht mehr überall gewachsen ist. Im- und Exporte von Daten können via Excel-, Word, Open Office- sowie über XML-Formate vorgenommen werden.

6 Normdaten

Ein ausgeprägtes Feature von imdas pro ist die Verwendung von kontrolliertem Vokabular. Sachschlagworte und Objektbezeichnungen (aktuell ca. 7.600 Begriffe im BLM), Materialien (ca. 500 Begriffe dort), Techniken (ca. 400 Begriffe dort), Herstellungs- und Fundorte (ca. 30.000 Begriffe dort), Zeitangaben (ca. 4.700 Begriffe dort), dazu Einheiten, Währungen, Sprach- und Ländercodes sowie Literaturangaben etc. werden als Normdaten hinterlegt. Unter den verwendeten Normdaten ragen die Personendaten heraus. Personen finden sich sowohl im Thesaurus, insbesondere zur Verwendung im Rahmen der Verschlagwortung, als insbesondere auch in einem spezifischen Stammdatenmodul, über das die Personen erfasst und mit verschiedenen Rollen und Funktionen (Voreigentümer, Künstler, Hersteller etc.) gekennzeichnet werden. Über diese werden sie dann in die entsprechenden Personenfelder eingesetzt.

Schreibanweisungen regeln z. B. die Ansetzung der Standorte. Die Verwendung von kontrolliertem Vokabular erleichtert die Erfassung, ist Grundlage für zuverlässige Recherchen und legt eine eindeutige Semantik der Feldinhalte fest. Die Realisierung reicht dabei von einfachen Wortlisten und strukturierten Stammdaten über Thesauri – es ist möglich, auch spezielle fachliche Thesauri z. B. zur Numismatik zur importieren – bis zur Anbindung von externen Normdateien über Online-Schnittstellen. Imdas pro stellt z. B. eine Z39.50-Schnittstelle zur Verfügung, über die Literaturangaben aus dem SWB-Verbundsystem oder anderen Bibliothekskatalogen standardisiert nach imdas pro übertragen werden können.

Die dem BSZ angeschlossenen Museen gleichen ihre Normdaten, also sowohl die Thesauri als auch die Personenstammdaten, mit der Gemeinsamen Normdatei (GND) der Deutschen Nationalbibliothek ab. Damit setzen sie ein national kontrolliertes, also eindeutiges Vokabular ein, mit Synonymen und Identifikationsnummern sowie ggf. Ländercodes. Auch Begriffserläuterungen, Koordinaten etc. werden aus der GND übernommen. Grundsätzlich steht auch eine Schnittstelle zum Allgemeinen Künstlerlexikon

(AKL) und zur Union List of Artist Names (ULAN) des Getty Research Institutes in Los Angeles zur Verfügung.

Die GND wurde als Instrument der Sacherschließung in wissenschaftlichen Bibliotheken aufgebaut und enthält neben Personen, Körperschaften und Konferenzen auch Geographika, Sach- und Formschlagworte sowie Werktitel. Für Museen wurde sie insbesondere im Hinblick auf die Belieferung von Kulturportalen relevant, z. B. der Deutschen Digitalen Bibliothek (DDB) oder dem baden-württembergischen Landesportal LEO-BW. Diese beiden Portale führen Metadaten aus Bibliotheken, Archiven, Museen und anderen Kulturinstitutionen zusammen. Um die Semantik ihrer heterogenen Datenbasis beherrschbar zu machen, forcieren solche Kulturportale die allgemeine Verwendung der GND, da diese wenigstens schon im Bibliothekswesen eine breite Nutzung erfährt. Allerdings weist die GND für Kultursparten wie Museen und Archive Defizite auf, inhaltlich fehlen Namen sowie insbesondere Sachschlagworte und organisatorisch mangelt es an passenden Redaktionsverfahren, um neue Begriffe in die GND einzubringen. Derzeit findet unter Beteiligung des BSZ ein Pilotprojekt statt, die GND für Museen zumindest im Hinblick auf Personenansetzungen entsprechend zu ertüchtigen.

Trotz der bereits in imdas pro integrierten Wortlisten und Thesauri, den Schnittstellen und aktuellen Initiativen zur GND, werden im BLM derzeit ca. 9.000 „freie“, also aus dem Kollegium beigetragene, unbearbeitete Begriffsansetzungen verwendet. Die Vielzahl der „freien Begriffe“ zeigt einerseits den enormen Bedarf an kontrolliertem Vokabular, andererseits aber auch, wie arbeitsintensiv die Pflege der Thesauri oder das Beitragen zur GND ist – eine Aufgabe, die in der Regel im Arbeitsalltag nur nebenher betrieben und von einem Haus, vor allem, wenn es eine heterogene Sammlungsstruktur hat, allein nicht erfolgreich bewältigt werden kann.

Soweit die GND aktuell noch keine umfassende Perspektive bietet, ist Thesaurusarbeit daher zunächst individuell oder in kollektivem Zusammenwirken der Museen zu organisieren. Für Letzteres bietet die 2005 aus einer Tagung der Fachgruppe Dokumentation im Deutschen Museumsbund hervorgegangene Plattform „museumsvokabular.de“[5] einen ersten Ansatz. Mit der Software xTree des digiCULT-Verbunds existiert eine Plattform für gemeinschaftliche Thesaurusarbeit, mit der das BSZ kooperiert und zu der 2018 eine Schnittstelle für imdas pro beauftragt werden soll. Die Rolle des jetzt über eine Arbeitsgruppe aus dem Institut für Museumsforschung in Berlin, dem digiCULT-Verbund und dem Kunsthistorischen Institut in Florenz (Max-Planck-Institut) ins Deutsche übersetzten Vokabulars des Arts & Architecture-Thesaurus (AAT)[6] des Getty Research Institutes in Los Angeles ist noch offen. Zur GND bieten sich möglicherweise museumsspezifische Alternativen.

[5] www.museumsvokabular.de
[6] www.aat-deutsch.de

7 Der Alltag

Die Altbestände der Museen werden retrospektiv erfasst, Neuerwerbungen werden unmittelbar in die Datenbank eingearbeitet. Direkt am Objekt ermittelte oder analog (Inventarbücher, Inventarkarten, Bestandskataloge) niedergeschriebene Metadaten werden in intellektueller Arbeit eingepflegt oder, liegen Metadaten „irgendwie“ digital vor, per Stapelverarbeitung in die Museumssoftware importiert; in beiden Fällen stellt die erforderlich Aufbereitung der ursprünglichen Daten mit Normdaten einen nicht zu unterschätzenden Arbeitsaufwand dar.

Viele Museumsobjekte können nur rudimentär nach dem Prinzip „quick and dirty“ erfasst werden. Dies liegt einerseits an der Vorgabe, möglichst viele Objekte zu erfassen, wie auch an der der Alltagsarbeit geschuldeten Situation, einen Grunddatensatz anzulegen, um einen einzigen aktuellen Sachverhalt festzuhalten, z. B. den Standort des Museumsobjektes oder die Katalogisierung einer Bilddatei. Selbstverständlich gibt es in den Objektdatenbanken der Museen am anderen Ende der Erfassungsqualität eine Vielzahl Datensätze mit größter wissenschaftlicher Qualität, die den aktuellen Forschungsstand präzise dokumentieren und zum Teil für die Publikation in Kulturportalen und Digitalen Katalogen freigegeben sind.

Im BLM ist imdas pro ein alltägliches Arbeitsinstrument für Wissenschaftler und Dokumentare, aber auch für Restauratoren sowie für das Leihbüro, das Fotoatelier und das Bildarchiv. Auch die Kulturvermittlung (Museumspädagogik) und das Referat PR- und Marketing haben Lesezugriff. Insgesamt ergibt das aktuell 65 aktive und passive Nutzerinnen und Nutzer, die ganz unterschiedliche Anforderungen, aber auch ganz unterschiedliche Kenntnisse und Erfahrungen in der Anwendung der großen Museumssoftware imdas pro haben.

8 Weitere museale Geschäftsprozesse

„Imdas“ ist ein Akronym für „Integriertes Museums Dokumentations- und Administrations-System“ und diese Bedeutung verweist auf die bisher betrachteten museumsinternen Aufgaben der Dokumentation und der Administration von Museumsobjekten. Seit der Namensgebung haben sich die Anforderungen an eine große Museumssoftware stark ausgedehnt und entsprechend wird imdas pro weiterentwickelt. Heute unterstützt imdas pro nicht nur die Dokumentations- und Verwaltungsanforderungen, sondern soll auch Geschäftsprozesse überwachen und dokumentieren, die in den Museen auf der Museumsdokumentation basieren.

Das **Leihverfahren**, also die Ausleihe von Museumsobjekten in externe Ausstellungen, ist beispielsweise vielschichtig und wird von mehreren Museumsmitarbeitern erledigt: Die Anfrage des Leihnehmers geht zunächst an die Direktion, welche die Anfrage annimmt –

oder nicht. Im positiven Fall konsultiert das Leihbüro die zuständige Kuratorin[7]. Sie empfiehlt die Ausleihe – oder nicht. Sie legt ggf. den Versicherungswert fest. Nächste Station ist die Restaurierung. Die Restauratorin nimmt Stellung. Sie empfiehlt die Ausleihe – oder nicht. Sie legt die Leihbedingungen hinsichtlich Transport (z. B. Verpackung, Kurierbegleitung), Klimabedingungen (Temperatur, Luftfeuchtigkeit), Montagevorgaben etc. fest. Zur endgültigen Entscheidung geht die Leihanfrage wieder an die Direktorin. Stimmt sie der Ausleihe zu, fertigt das Leihbüro einen Vertrag aus, der alle für die Ausleihe relevanten Metadaten zum Museumsobjekt beinhaltet und von Leihgeber und Leihnehmer unterzeichnet wird. Der Leihnehmer muss einen Versicherungsnachweis übermitteln. Ggf. muss eine fotografische Neuaufnahme für eine Katalogabbildung beauftragt undgemacht werden. Diese Neuaufnahme wird schließlich in der Objektdatenbank katalogisiert. Nach Erscheinen ist der Ausstellungskatalog in den Literaturhinweisen zu verzeichnen.

Bei solchen Geschäftsprozessen zeigt sich die Unterschiedlichkeit in der internen Organisation und Arbeitsweise von Museen besonders deutlich: Zur Implementierung eines Leihmoduls für imdas pro wurden sieben Jahre und mehrere Beauftragungen beim Softwarehersteller gebraucht. Entstanden ist dabei ein an internationale Standards orientiertes Rahmenwerk, in das die konkreten Workflows der Museen erst noch abgebildet werden müssen. Bislang ist das Leihmodul lediglich in einem vom BSZ betreuten Museum im Einsatz.

Die Erfahrung mit der Entwicklung des Leihmoduls wirft die Frage auf, ob ein integriertes Museumssystem wirklich noch das richtige Ziel ist, also eine Anwendung, die alle anfallenden EDV-Bedarfe auf einer einzigen durchgängigen Softwarebasis realisiert. Diese Frage muss von Fall zu Fall beantwortet werden. Ein Kriterium für die Antwort ist die lesende und schreibende Verzahnung der Aufgabe mit der Objektdokumentation. So ist es z. B. sinnvoll, ein Modul für die Restaurierung, bei der Prozesse mit vielen einzelnen Details in der Objektsdokumentation festgehalten werden müssen, in der Museumssoftware selbst zu implementieren. Andererseits erfordert z. B. die Organisation von Sonderausstellungen mit kurzen Laufzeiten Daten, die, obwohl sie unmittelbar mit dem Objekt zu tun haben, doch weit über die eigentliche Objektdokumentation (auch die von Fremdobjekten) hinausgehen. Dazu gehören: konzeptionelle Einbindung in das Ausstellungsthema, Beschriftung und Katalogbeitrag, aber auch rein Organisatorisches wie Standort in der Sonderausstellung, Vorgaben zur Montage und Präsentation etc. Hierzu ist nur eine lose Kopplung zur eigentlichen Objektdokumentation erforderlich. In verschiedenen Museen sind als weiteres Beispiel spezielle Asset-Management-Systeme im Einsatz, welche die Medienverwaltung von imdas pro im Hinblick auf Komfort und Mächtigkeit übertreffen, eine periodische Synchronisation mit imdas pro ist ausreichend.

Ein Bereich, der von vornherein außerhalb von imdas pro realisiert wurde, ist die Online-Publikation von Museumsinformationen: Imdas pro enthält keinen Webserver und aufgrund sensibler Daten über Voreigentümer, Werte und Standorte wird die

[7] Der sprachlichen Einfachheit halber wird hier und im Folgenden nur die weibliche Form verwendet.

Museumsdatenbank, den Regelungen zum Datenschutz folgend, logisch und organisatorisch strikt vom offenen Internet getrennt betrieben.

Digitale Kataloge mit speziell für die Veröffentlichung aufbereiteten Metadaten und Bildern werden auf Basis separater Suchmaschinen eingerichtet, in die die Daten durch imdas-pro-XML-Export und XSLT-Aufbereitung transferiert werden. Bislang sind diese Rechercheinstrumente in der Regel mit einer eigenen Oberfläche ausgestattet, die das Corporate Design des Museums nachempfindet und die in den Webauftritt des Museums verlinkt wird. Der neue Webauftritt der Staatsgalerie Stuttgart realisiert den Digitalen Katalog nun direkt im eingesetzten Content-Management-System und bezieht lediglich Daten und Bilder über Webservices.

In Fortsetzung dieser Verfahrensweise werden mittlerweile alle nichtsensiblen Datenelemente zu den gesamten erfassten Beständen der Museen nächtlich über Oracle-PL/SQL-Skripte automatisiert in eine Suchmaschine Expo-DB indexiert, um über passwortgeschützte JSON- und XML-Schnittstellen vielfältigen Verwendungen in den Museen zur Verfügung zu stehen. Neben Digitalen Katalogen, Medienstationen, Apps und Games ist hier auch an Einbindung in Asset-Management, Ausstellungsplanung und andere Arbeitsabläufe im Museum zu denken. Da für Letzteres eine hohe Aktualität der externen Daten erforderlich ist, wird an einem inkrementellen, kurzperiodischen Update der Expo-DB gearbeitet. Um umgekehrt Daten aus solchen externen Systemen in die imdas-pro-Datenbanken zu synchronisieren, sollen die regulären imdas-pro-Importroutinen über einen Automatisierungsmechanismus verwendet werden. Damit wacht imdas pro selbst über die Integrität der zu integrierenden Daten.

9 Zusammenfassung und Ausblick

Mit der Expo-DB positioniert sich imdas pro als Komponente in einem weitläufigen System von Anwendungen des Museums, das nach lokalem Bedarf unterschiedlich ausgestaltet werden kann. Imdas pro bleibt darin die verbindliche Masterdatenbank, die alle Informationen über die Sammlungsobjekte verbindlich und nachvollziehbar zusammenführt und nachhaltig sichert; imdas pro muss dafür die Pflege, Selektion und Verwaltung von Museumsdaten komfortabel und zuverlässig ermöglichen, es muss darüber hinaus aber nicht jeden Bedarf an Datenverarbeitung im Museum erfüllen – insbesondere nicht dort, wo der Datenschutz offenen Verwendungen in imdas pro entgegensteht. Nicht zuletzt lassen sich damit innovative Vorhaben vom Entwicklungszyklus von imdas pro selbst abkoppeln, das immer auf die eingeübten und bewährten Verwendungsweisen Rücksicht nehmen muss.

Rund zwei Jahrzehnte, nachdem imdas pro für die baden-württembergischen Landesmuseen ausgewählt wurde, arbeitet die Museumsdokumentation weiter am Kompromiss zwischen dem Schaffen eines elementaren Überblicks über den gesamten Sammlungsbestand und der ausreichenden Dokumentation des einzelnen Sammlungsobjekts, die

seine Bewahrung, die Forschung, Ausstellung und Vermittlung ermöglicht. Die Digitalisierung in Museen bestätigt die bereits geleistete digitale Objektdokumentation und begründet, auch zukünftig Mittel auf diesem Feld einzustellen und die Anstrengungen zu verstärken. Die mit der Digitalisierung einhergehende Öffnung für spezielle Anwendungen, Kulturportale und neue Datennutzungen wird durch die Systematik der Museumsdokumentation in imdas pro und dessen Normdatenverwendung erleichtert oder sogar überhaupt ermöglicht. Insgesamt ist ein beachtliches Gebäude an Daten, Organisation und Know-how entstanden, das nicht leicht abzulösen ist. Technisch stellt imdas pro bewährten Industriestandard da, der allerdings aktuell durch eine generelle Migration auf C-Sharp grundlegend renoviert wird. Durch die Ergänzung durch die Expo-DB wird die nicht-sensible Museumsdokumentation für innovative, auch experimentelle Nutzungen geöffnet und ordnet sich in ein zeitgemäßes System lose übers Web und https gekoppelter Komponenten ein.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 597

Analyse und Aufzeigen von Zusammenhängen

Falk Schreiber[1]

Keywords: Immersive Analytics, explorative Datenanalyse, immersive Umgebungen, virtuelle Realität

Neben der angemessenen Präsentation und der intuitiven Exploration virtueller Objekte stellt sich oft auch die Frage, in welchen Zusammenhängen ein Objekt zu anderen Objekten, Prozessen oder weiteren Daten steht, und wie Analyseergebnisse bezüglich solcher Zusammenhänge medial vermittelt werden können. Zusätzlich zur interaktiven Visualisierung sind hierbei Algorithmen zur Datenanalyse, insbesondere zur Untersuchung von Netzwerken, wichtig. Dieser Vortrag beschäftigt sich daher mit „Immersive Analytics" Methoden und deren Anwendung zur Analyse und zum Aufzeigen von Zusammenhängen.

Immersive Analytics untersucht Arbeitsweisen und Technologien, um den Nutzer in die Daten „eintauchen" zu lassen und ihn idealerweise in einen mentalen Zustand der völligen Vertiefung und des Aufgehens in Datenexploration und -analyse zu versetzen [Ch15]. Ein wichtiger Aspekt ist dabei auch die Zusammenarbeit mehrerer Anwender in immersiven Umgebungen. An Hand einiger aktueller Projekte [So17] wird gezeigt, wie Methoden von Immersive Analytics bei der Vermittlung von Wissen und dem Erkennen von Zusammenhängen helfen können. Der Schwerpunkt liegt dabei auf Arbeiten aus den Natur- und Umweltwissenschaften (digitales Naturerbe), die entwickelten Verfahren zu Datenmanagement, -analyse und -visualisierung lassen sich jedoch auch zur Exploration des digitalen Kulturerbes verwenden.

Literaturverzeichnis

[Ch15] T. Chandler et al.: Immersive Analytics. In: Proc. 1st IEEE Internat. Symposium on Big Data Visual Analytics (BDVA), Hobart, 2015, IEEE, S. 73-80, 2015.

[So17] B. Sommer, et al.: 3D-stereoscopic immersive analytics projects at Monash University and University of Konstanz. In (Woods, A. et al. Hrsg.): Proc. IS&T Electronic Imaging: Stereoscopic Displays and Applications XXVIII), San Francisco, 2017, IS&T, Springfield, VA, S. A109, 2017.

[1] Universität Konstanz, Fachbereich Informatik und Informationswissenschaft, Universitätsstraße 10, 78464 Konstanz, Falk.Schreiber@uni-konstanz.de

doi:10.18420/in2017_55

MOC 2017 – 9. Workshop zur Deklarativen Modellierung und effizienten Optimierung komplexer Probleme

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 601

MOC 2017 – 9. Workshop zur Deklarativen Modellierung und effizienten Optimierung komplexer Probleme

Petra Hofstedt[1], Ulrich John[2], Armin Wolf[3]

Die derzeitigen Entwicklungen und Herausforderungen in Wirtschaft und Gesellschaft (Stichworte: Digitalisierung/ Digitale Transformation) stellen enorme Anforderungen an die Informatik und Wirtschaftsinformatik. Nur durch die aktiv getriebene Weiterentwicklung und den gezielten Einsatz von IT-Technologien, -verfahren und -methoden können wir es schaffen, uns den Herausforderungen unserer Zeit erfolgreich zu stellen und nachhaltige, zielkonforme, wirtschaft-liche Lösungen zu entwickeln. Beispieldomänen hierfür sind das agile Management (lokal und global) bei sich ändernden politischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen, das flexible Steuern und Überwachen großer Verkehrs- und Versorgungsnetze, das Schaffen und Betreiben agiler effizienter Unternehmensverbünde und die Energiewende. Wesentliche Aspekte hierfür sind „agilitätsbegünstigende“ und validierbare Modellierung sowie die Optimierung von Prozessen und die Planung und Steuerung von effizienten und nachhaltigen Ressourcennutzungen.

Eine der großen Herausforderungen besteht darin, dass die zu behandelnden Aufgabenstellungen aufgrund Ihrer rasant gewachsenen Größe (z.B. durch das Internet of Things) und steigender Komplexität immer schwerer beherrschbar sind. Viele Anwendungsfälle – z.B. in der Logistik, im Zuliefernetzmanagement und beim Infrastrukturmanagement – verlangen gute oder gar „optimale“ Lösungen innerhalb kürzester Zeit und darüber hinaus oft die Möglichkeit zur flexiblen Interaktion und Adaption. Die fünf akzeptierten Papiere des Workshops adressieren signifikante Teilaspekte des vom Workshop vertretenden Themenspektrums. Einerseits sind dabei theorieorientierte Arbeiten vertreten, andererseits aber auch Diskussionen und Erörterungen hinsichtlich praktischer Problemstellungen sowie zu erkannten Forschungs- und Entwicklungspotenzialen auf dem Gebiet der Digitalen Transformation von Unternehmen, Unternehmensverbünden und Behörden.

[1] Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg, Lehrstuhl Programmiersprachen und Compilerbau, Postfach 101344, 03013 Cottbus, hofstedt@b-tu.de
[2] Hochschule für Wirtschaft, Technik und Kultur (HWTK), Fachbereich Wirtschaftsinformatik, Friedrichstr. 189, 10117 Berlin, ulrich.john@hwtk.de/ john@sir-john.de
[3] Fraunhofer FOKUS, Kaiserin-Augusta-Allee 31, 10589 Berlin, armin.wolf@fokus.fraunhofer.de

doi:10.18420/in2017_56

Organisation: Petra Hofstedt (Brandenburgische Technische Universität Cottbus - Senftenberg), Ulrich John (Hochschule für Wirtschaft, Technik und Kultur, Berlin), Armin Wolf (Fraunhofer FOKUS, Berlin)

Programmkomitee: Christoph Beierle (FernUni Hagen), Ulrich Geske (Universität Potsdam), Hans-Joachim Goltz (Fraunhofer FOKUS, Berlin), Petra Hofstedt (Brandenburgische Technische Universität Cottbus - Senftenberg), Walter Hower (Hochschule Albstadt-Sigmaringen), Ulrich John (Hochschule für Wirtschaft, Technik und Kultur, Berlin), Andreas Kmoch (Toll Collect), Georg Ringwelski (Hochschule Zittau/Görlitz), Dietmar Seipel (Universität Würzburg), Armin Wolf (Fraunhofer FOKUS, Berlin)

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 603

The Power of Regular Constraints in CSPs

Sven Löffler[1], Ke Liu[1] and Petra Hofstedt[1]

Abstract: This paper discusses the use of the regular membership constraint as a replacement for other (global) constraints. The goal is to replace some or all constraints of a constraint satisfaction problem (CSP) with regular constraints and to combine them into a new regular constraint to remove redundancy and to improve the solution speed of CSPs. By means of a rostering problem as an example it is shown that our approach allows a significant improvement of the solution performance due to a reduction of the size of the search tree.

Keywords: CSP, Global Constraints, Regular Constraint, Optimization, Refinement, DFA

1 Introduction

Constraint programming is a powerful method to model and solve NP-complete problems in a declarative way. Typical and the most and with biggest success researched problems in constraint programming are rostering, graph coloring and satisfiability (SAT) problems [Ma98].

A perfect declarative program would be solving several descriptions of a problem with the same speed. Like we will show, this is not the case in general constraint problems. This paper introduces a way to make a constraint satisfaction problem (CSP) problem more independent from the description by the use of regular constraints.

In general, for real problems exist many ways to model them by constraints. Different constraint programs which describe the same real problem need different execution resp. solution time. One reason is that there are different constraints which can describe the same restrictions but use different propagation algorithms. Therefore, a replacement of constraints by constraints of another type which can solve a certain problem faster or which can be combined to more specific constraints can be a promising approach.

This paper discusses the use of the regular membership constraint in place of other (global and set of local) constraints. The goal is it to replace some or all constraints of a constraint satisfaction problem (CSP) with regular constraints and to combine some or all of these regular constraints to a new regular constraint to remove redundancy, unnecessary backtrack

[1] Brandenburg University of Technology Cottbus - Senftenberg, Programming Languages and Compiler Construction, Konrad-Wachsmann-Allee 5, D-03044 Cottbus, {Sven.Loeffler, Ke.Liu, Petra.Hofstedt}@b-tu.de

doi:10.18420/in2017_57

and to improve the solution speed of CSPs. The regular constraint and its propagation algorithm [Pe01, Pa08, HPvB04] provide the basis of this approach.

This paper is structured as follows: In Sect. 2 the basics of constraint satisfaction problems (CSPs) are be explained and a new specification (a regular CSP) is be presented. In Sect. 3 we show that every CSP can be transformed into a regular CSP, theoretically and we enumerate a selection of constraints for which effective transformations exist. Section 4 is dedicated to a discussion of the advantages and disadvantages of this new approach. Finally, we give an outlook on the directions of future research in Sect. 5.

2 Basic principles of constraint programming

Constraint programming (CP) is a programming paradigm which developed from the logical programming since the middle of the 1980s. CP is qualified for declarative description and effective solution of big problems for planning and scheduling, configuration and optimization and for dealing with tasks for which only incomplete information is available. In contrast to the imperative programming it is not necessary to define the algorithmic steps which lead to a solution, instead, in CP we describe the problem and its solutions in a declarative way.

This paper will consider constraint satisfaction problems (CSPs) which are defined as follows.

CSP [De03] A constraint satisfaction problem (CSP) is defined as a 3-tuple $P = (X, D, C)$ with
$X = \{x_1, x_2, \ldots, x_n\}$ is a set of variables,
$D = \{D_1, D_2, \ldots, D_n\}$ is a set of finite domains where D_i is the domain of x_i and
$C = \{c_1, c_2, \ldots, c_m\}$ is a set of primitive or global constraints containing between one and all variables in X.

Primitive constraints are simple relations like $x_1 = x_2$, $x_1 \neq x_2$ or $x_1 + x_2 < x_3$. In contrast to this, global constraints [vHK06] are more complex and mostly base on efficient algorithms to solve a problem faster as with equivalent primitive constraints. Examples of global constraints are the *allDifferent* constraint, the *global cardinality constraint*, *cumulative*, *count*, *sum* and *regluar*.

Global constraint [RBW06] A global constraint is a condition which describes a relationship between a non-fixed number of variables.

Solving a CSP means finding assignments to $X = \{x_1, x_2, \ldots, x_n\}$ such that the value of x_i is in D_i, $\forall i \in \{1, 2, \ldots, n\}$, while all the constraints are satisfied. To find a solution of a CSP, consistency enforcement methods and search (mostly depth-first search) are used. A consistency enforcement method is an algorithm which tries to remove elements from the variables domains which are not part of solutions of the CSP.

While often it is not possible to reduce the domains such that only values remain, which are part of at least one solution *(global consistency)*, typically we remove values which violate single constraints and reach *hyper arc consistency* (or *local consistency*).

Hyper arc consistency [Ap03] A constraint $c \in C$, $c \subseteq D_1 \times \ldots \times D_k$ is called hyper arc consistent if for every $i \in \{1, \ldots, k\}$ and $\forall a \in D_i$:

$$\exists (a_1, \ldots, a_{i-1}, a_{i+1}, \ldots, a_k) \in D_1 \times \ldots \times D_{i-1} \times D_{i+1} \times \ldots \times D_k :$$
$$(a_1, \ldots, a_{i-1}, a_i, a_{i+1}, \ldots, a_k) \in c$$

Intuitively, a constraint c is hyper arc consistent if every domain value of each variable is part of at least one solution of c. Unfortunately, mostly it is not possible to conclude from the hyper arc consistency of all single constraints in a CSP to the global consistency of the whole CSP.

Global consistency [De03] Let be $P = (X, D, C)$ a CSP with the variables $X = \{x_1, \ldots, x_n\}$, the domains $D = (D_1, \ldots, D_n)$ and the set of constraints $C = \{c_1, \ldots, c_k\}$ over X.

The CSP P is globally consistant, if

$$\forall i \in \{1, \ldots, n\}, \forall d_i \in D_i :$$
$$\exists d_1 \in D_1, \ldots, \exists d_{i-1} \in D_{i-1}, \exists d_{i+1} \in D_{i+1}, \ldots, \exists d_n \in D_n$$

such that the valuation σ with $\sigma(x_k) = d_k$, $k \in \{1, \ldots, n\}$ is a solution for P, i. e. satisfies the constraints of C in conjunction.

Finding a valid assignment, i. e. solution, to a constraint satisfaction problem is usually accomplished by combining or nesting backtracking search with consistency enforcement. To do so, a variable is assigned one of the values from its domain in every node of the search tree. Due to time-complexity issues, the used consistency methods are rarely complete [De03].

2.1 A general problem in (CSP) modelling

When describing real problems using CSPs, there are typically many possible ways of interpretation and modeling supported by various constraints. The resulting CSPs, thus, can have very different solution speed and behavior. As an example consider the following problem.

Problem 1: Given n, $n \in \mathbb{N}$, $n > 8$, find 100.000 permutations of the numbers from 1 to n.

This sounds like an easy problem which can be modeled very easily by the following CSP.

CSP 1.1: Let $P = (X, D, C)$ be a constraint satisfaction problem (CSP) with:
$X = \{x_1, x_2, \ldots, x_n\}$

$D = \{D_1, D_2, \ldots, D_n \mid D_i = \{1, 2, \ldots, n\},\ i \in \{1, 2, \ldots, n\}\}$
$C = \{allDifferent(x_1, x_2, \ldots, x_n)\}$

The *allDifferent* constraint (see e. g. [vHK06]) is a global constraint ensuring that all variables are pairwise different. CSP 1.1 obviously solves our problem but there are other modelings, too. Take a look on a second CSP describing our problem.

CSP 1.2: Let $P = (X, D, C)$ be a constraint satisfaction problem (CSP) with:

$X = \{x_1, x_2, \ldots, x_n\}$
$D = \{D_1, D_2, \ldots, D_n \mid D_i = \{1, 2, \ldots, n\},\ i \in \{1, 2, \ldots, n\}\}$
$C = \{x_i \neq x_j \mid i, j \in \{1, 2, \ldots, n\},\ i < j\}$

While both modelings, i. e. CSP 1.1 and CSP 1.2 declaratively are equivalent, their propagation mechanisms differ. CSP 1.1 considers the problem from a global perspective using a global constraint and a corresponding propagation mechanism [Ré94, Ló03] over all variables. CSP 1.2 considers a conjunction of $\frac{n*(n-1)}{2}$ disequality constraints. Thus, CSP 1.1 mainly relies on consistency enforcement mechanisms while CSP 1.2 uses local consistency enforcement nested with a huge amount of search. Often it is assumed that global constraints result in a faster solution process. However, this is not necessarily the case. For our problem, a small test example shows that for smaller problems up to $n \leq 45$ CSP 1.2 is faster than CSP 1.1.

Whether the solution process for a certain modeling is faster than for a semantically equivalent CSP description, depends on many different things, like the kind of constraints, the number of variables, variable orderings, domain sizes, search strategy, propagation engine and much more. If only one of these points changes, it may result significantly in the speed of the solution process. Finding the best combination of search strategy, propagation engine, used constraints, variable order and so on is one of the biggest problems in CSPs and it is not yet completely solved or even researched. Until someone might find an algorithm to detect best combinations of settings for general problems, it is useful to consider settings which are better in average or in special areas of applications.

2.2 Regular CSPs

In this section, we introduce regular constraints as a means of modeling constraint problems. First, we briefly recall the notion of a DFA [La12].

DFA A deterministic finite automaton (DFA) is a quintuple $M = (Q, \Sigma, \delta, q_0, F)$, where

- Q is a finite set of states,
- Σ is the finite input alphabet,
- δ is a transformation function $Q \times \Sigma \rightarrow Q$,

- $q_0 \in Q$ is the initial state,
- $F \subseteq Q$ is the set of final or accepting states.

A word $w = (w_1, w_2, \ldots, w_n)$ is accepted by M, i. e. $w \in L(M)$, if the corresponding DFA M with the input w stoppes in a final state $f \in F$.

Regular membership constraint [vHK06] Let $M = (Q, \Sigma, \delta, q_0, F)$ be a DFA, let $X = \{x_1, \ldots, x_n\}$ be a set of variables with domains $D = \{D_1, D_2, \ldots, D_n\}$, $\forall i \in \{1, \ldots, n\} : D_i \subseteq \Sigma$. The regular language membership constraint (regular constraint) is defined as:

$$regular(X, M) = \{(w_1, \ldots, w_n) \mid \forall i \in \{1, \ldots, n\} : \; w_i \in D_i, \; (w_1, w_2, \ldots, w_n) \in L(M)\}$$

In the following, we use the notion of regular CSPs:

Regular CSP A regular constraint satisfaction problem (regular CSP) is defined as a 3-tuple $P = (X, D, C)$, where
$X = \{x_1, x_2, \ldots, x_n\}$ is a set of variables,
$D = \{D_1, D_2, \ldots, D_n\}$ is a set of finite domains where D_i is the domain of x_i and
$C = \{c_1, c_2, \ldots, c_m\}$ is a set of regular constraints over variables from X.

3 Transformation from a general CSP into a regular CSP

In this section we briefly show that for every CSP there exist an equivalent regular CSP and we enumerate a selection of constraints for which effective transformations exist.

3.1 A theoretical consideration

The solution space S, i. e. the number of solutions, of every CSP P is finite by definition. For P, there is a finite number n of variables $X = \{x_1, \ldots, x_n\}$ with finite domains $D = \{D_1, \ldots, D_n\}$. A CSP P over n variables but with the only constraint $true$ has a solution space S of size $\Pi_{i=1}^{n} D_i$. In general, constraints can restrict domains but they can't add values to a domain. Thus, the solution space S' of a CSP P', i. e. P but with the constraint set $C' = \{c_1, \ldots, c_m\}$ is smaller or equal to the solution space of the original CSP P: $S' \subseteq S$.

A finite solution space can also be described by a finite language L over the finite alphabet $\Sigma = \bigcup_{\forall i \in \{1,\ldots,n\}} D_i$. Every word w of L has length n. A word $w = (w_1, w_2, \ldots, w_n)$ is an element of L iff there exists a solution $s = \{x_1 = w_1, \ldots, x_n = w_n\}$ for P.

Since L is finite, there exists a DFA M for L (Myhill-Nerode theorem [HU79]) and, therefore, for the solutions of the CSP P. It follows that for every CSP $P = (X, D, C)$ there exists an equivalent regular CSP $P' = (X, D, C')$ where $C' = \{regular(X, M)\}$.

3.2 Transformations

As discussed previously, for every general CSP $P = (X, D, C)$, there exists a regular CSP $P' = (X, D, C')$. Obviously P' can be generated if all solutions of P are known because, given the language L, we can easily create an appropriate DFA A. In practice, however, this is not useful because we intend to use the regular CSP P' to find one or all solutions of P faster.

For this reason, we are interested in direct transformations of (global) constraints into regular constraints. For some constraints corresponding efficient transformations are known (e. g. for *stretch* see [Pa08]), for others we defined such, among them *count*, the *global cardinality constraint*, and *table* constraints.

4 The use of regular CSPs

In this section, we discuss advantages and disadvantages of the transformation of a general CSP P into an equivalent regular CSP P' and show cases in which this can be very useful and improve the solution speed.

4.1 Advantages and disadvantages

Let's start with the obvious disadvantages: We need a transformation for every constraint (not trivial for some global constraints) and it may be time-consuming to transform a constraint to a regular constraint. Furthermore, the newly created regular constraints might even reduce the performance of the solver.

What are the advantages on the other hand? The solution process of a CSP consists of depth-first search (DFS) nested with consistency enforcement. The regular constraint has hyper arc consistency over its variables. Thus, transforming constraints with a lower consistency level into regular constraints, can (while potentially increasing the effort for consistency enforcement) reduce the number of fails and backtracks in DFS in the solving process. Furthermore, an important advantage is that several constraints can be combined into one new constraint with hyper arc consistency by using the automata intersection.

As an (well-known) example, consider Fig. 1. On the left-hand side (a) we see a constraint network over the variables $X = \{a, b, c\}$ with domains $D = \{D_a, D_b, D_c\}$, where $D_a = D_b = D_c = \{1, 2\}$, and $C = \{a \neq b, b \neq c, a \neq c\}$. The right-hand side (b) gives a semantically equivalent constraint network, but with another constraint representation: $C' = \{allDifferent(a, b, c)\}$.

A solver using search nested with consistency enforcement will find out, that no solution exists in both cases. However, in case (a) the propagation method of the solver uses local

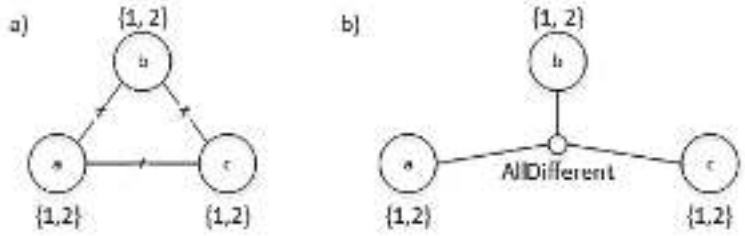


Fig. 1: The use of the allDifferent constraint

consistency over the three disequality constraints and, thus, needs backtracking search to finally reduce the solution space to the empty set. In contrast to this, in the second case (b), the *allDifferent* constraint is propagated with global consistency enforcement and directly yields the empty solution space without search. Notice, that the constraints (in both cases) have hyper arc consistency but hyper arc consistency leads only sure to global consistency if the constraints are not overlapping.

A transformation of the constraint network of Fig. 1 case (a) yields a representation similar to case (b): In a first step, every disequality constraint is transformed into a regular constraint, i. e. C is transformed into C'', where
$C'' = \{regular(\{a, b, c\}, M_1),\ regular(\{a, b, c\}, M_2),\ regular(\{a, b, c\}, M_3)\}$ and with DFAs M_1, M_2, and M_3 (for $a \neq b$, $b \neq c$, and $a \neq c$ resp.) given Fig. 2.

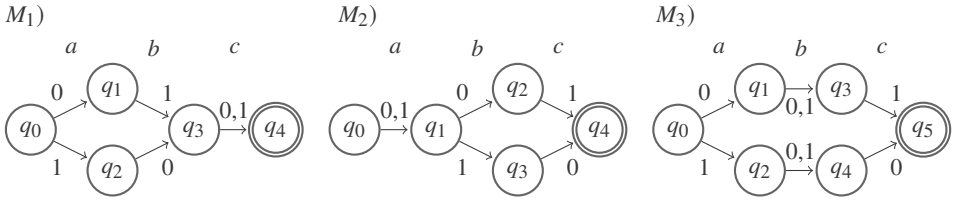


Fig. 2: Equivalent DFAs for the disequality constraints from Fig. 1 (a)

In a second step, an intersection of the automata M_1, M_2, and M_3 is built and minimized which yields one new automaton M_{final} and a corresponding regular constraint. In our example, the language M_{final} accepts is the empty set. Thus, propagation of the newly created regular constraint on M_{final} is sufficient to find out about the empty solution space and search is not needed (as in case (b), Fig. 1).

One big advantage of the transformation of general CSPs into regular constraints (in contrast to using the original constraints) is that this method allows the combination of constraints of originally different type into a one new constraint with joint propagation function. This is possible by generating the automata, building their intersection, and minimizing the resulting DFA as described above. This, furthermore, leads to a removal of redundancy and, in average, to a reduction of fails and backtracking steps in the depth-first search process.

4.2 A rostering example

In this section, a more complex example is shown to demonstrate the power of regular constraints. Consider a rostering CSP $P = (X, D, C)$, where

$X = \{x_1, x_2, \ldots, x_n \mid n \; mod \; 7 = 0\}$
$D = \{D_1, D_2, \ldots, D_n \mid \forall i \in \{1, \ldots, n\} : \; D_i = \{0, 1, 2, 3\}\}$
$C = \{C_{shiftRequirements}, C_{shiftRepetitions}, C_{shiftOrder}, C_{equalDays}\}$

We consider n, $n \in \mathbb{N}$, $n \; mod \; 7 = 0$ days, i. e. several weeks. A variable x_i, $i \in \{1, 2, \ldots, n\}$ represents the shift of a person A_1 at day i, where we have four possible shifts: 0 represents a day off, 1 is early shift, 2 is late shift and 3 is night shift.

As typical for many staff rostering problems, we just consider the plan of one person A_1 and assume, that the plan for further staff is received by rotating A_1s plan by e. g. a week. For example given a shift plan $sol_{A_1} = (v_1, v_2, \ldots, v_7, v_8 \ldots, v_{14}, v_{15}, \ldots, v_n)$ (as a solution of the CSP P) for A_1, the plan for a person A_2 would be $sol_{A_2} = (v_8, \ldots, v_{14}, v_{15}, \ldots, v_n, v_1, v_2, \ldots, v_7)$, and for a certain person A_3 it might be $sol_{A_3} = (v_{15}, \ldots, v_n, v_1, v_2, \ldots, v_7, v_8, \ldots, v_{14})$.

The constraints C are explained in the following:

$C_{shiftRequirements}$ contains the core constraints which describes how many shifts of each kind (i. e. from 0, 1, 2, 3) are necessary for every day (i. e. $1, 2, \ldots, 7$) in a week. Often these values vary over the week, for example, less staff is needed on weekends (days 6 and 7). To express such restrictions, the *count* constraint is useful. Let's for our example assume that we wish a nearly equal staffing per day. This yields the following *count* constraints:

$\forall i \in \{1, 2, \ldots, 7\}, j \in \{0, 1, 2, 3\} : count(X_i, occ, j)$
where $X_i = \{x_i, x_{7+i}, x_{14+i}, \ldots\} \subset X$ and $occ = \{\lfloor \frac{n}{7*4} \rfloor, \lceil \frac{n}{7*4} \rceil\}$

Remark: The use of *global cardinality constraints* would be an alternative here, but, yield in performance measurements worse results.

$C_{shiftRepetitions}$ contains constraints to limit the minimum and maximum number of the same shift in consecutive days. In Germany, ergonomic knowledge must be respected. This means for example that the minimum number of days in a row with the same shift should be two [Bu13]. As well, the maximum number of repetitions is limited. In our example, we allow a maximum of four repetitions, except that on night shifts, where we limit it on three.

The $stretch(X, min, max, values, \ldots)$ constraint is perfect to model these requirements [Pa08] as follows:

$stretch(X, \{2, 2, 2, 2\}, \{4, 4, 4, 3\}, \{0, 1, 2, 3\}, \ldots)$

$C_{shiftOrder}$ restricts the order of shifts. We require that only later shifts or days off can place after an earlier shift, this guarantees conformance with the regulations on rest periods

in the German working time law [Ar94, §5]. Here, we use *table* constraints, which can express allowed or disallowed relations by tuples. The following *table* constraint says that for each two successive days x_i and x_{i+1} after a night shift there must not follow an early or a late shift (i. e. tuples (3, 1) and (3, 2) are forbidden) and that a late must not be followed by an early shift (i. e. tuple (2, 1) is forbidden).

$$\forall i \in \{1, 2, \ldots, n-1\} : table(x_i, x_{i+1}, \begin{pmatrix} 3 & 1 \\ 3 & 2 \\ 2 & 1 \end{pmatrix}, false)$$

$C_{equalDays}$ are constraints which guarantee that on Saturday a person always has the same shift as on the following Sunday, which is recommended [Bu13]. Here, we use $arithm$ constraints (arithmetic equality).

$$\forall i \in \{6, 13, \ldots, n-1\} : arithm(x_i, \text{“} = \text{“}, x_{i+1})$$

Remark: Of course, for real rostering problems, further restrictions and recommendations must be considered.

4.2.1 Evaluation

A series of tests with different values for n (28, 35, 42, 49, 56) and four different search strategies (see Table 1) was investigated. We applied variable and value selection strategies as defined by Charles Prud'homme for the Choco 4 solver (for details see [Ch17, PFL16]).

Name	Variable selector	Value selector
Search 1	“Smallest”	“IntDomainMin”
Search 2	“Smallest”	“IntDomainMedian”
Search 3	“FirstFail”	“IntDomainMin”
Search 4	“FirstFail”	“IntDomainMedian”

Tab. 1: The used search strategies

Tables 2 to 5 show the average results over all four search strategies and for the respective values of n. For example, Table 2 shows results for the staff rostering over four weeks, i. e. $n = 4 * 7 = 28$.

We compare the solution behaviour of the *original* version of the CSP P and its *regular* version, i. e. a CSP P' as a result of the transformation. In the *regular* version P' all constraints - except the $C_{shiftRequirements}$ - were transformed like described in the previous chapter (including intersection and minimization of the automaton) to a new constraint $c_{regular}$ as described before. We omitted the transformation of $C_{shiftRequirements}$ because that, in particular the intersection step, needs more time as we can save.

$n = 28$	t_1 in s	t_{44} in s	Nodes	Backtracks	Fails
Original	0.110	0.734	10501	20917	10415
Regular	0.024	0.304	3480	6873	3393
Improvement	4.546	2.413	3.018	3.043	3.069

Tab. 2: Statistics for $n = 4 * 7 = 28$

$n = 35$	t_1 in s	t_{100} in s	t_{10000} in s	t_{217339} in s	Nodes	Backtracks	Fails
Original	0.045	0.234	2.312	26.319	1262001	2089324	827324
Regular	0.008	0.073	0.630	4.283	504647	574618	69970
Improvement	5.774	3.210	3.670	6.146	2.501	3.636	11.824

Tab. 3: Statistics for $n = 5 * 7 = 35$

$n = 42$	t_{no} in s	Nodes	Backtracks	Fails
Original	5.337	199283	398568	199284
Regular	1.351	43911	87823	43912
Improvement	3.950	4.538	4.538	4.538

Tab. 4: Statistics for $n = 6 * 7 = 42$

By t_i we represent the time in seconds needed to compute i solutions of the corresponding CSP. Thus, t_1 is the time to find a first solution, t_{100} to find the first 100 solutions (depending on selection strategies). For values of i which are different from 1 or multiples of 100, i represents the maximum number of solutions. "Nodes" represents the number of nodes in the completely expanded search tree (i. e. for the last t_i in the resp. tables), "Backtracks" and "Fails" the numbers of backtracking steps and failing leafs, resp., during this search. The values for t_{no} represent time needed to detect that no solution exists.

It can be seen that the *regular* approach is in average always faster due to a lower number of nodes, fails, and backtracks to be investigated during search. Furthermore, and not to be seen here, not only the average values over all search strategies were better resp. times were faster, but this also holds for every single *regular* search wrt. its *original* version of the CSP.

Table 6 shows the number of solutions found in a restricted time of $300s$ for the four search strategies (cf. Table 1). Again, the *regular* approach is superior, while the scattering can be quite large. However, during our investigations it became obvious that in cases where higher numbers of solutions are requested, the *regular* approach is always better.

5 Conclusion

This section contains a summary of the paper, gives a conclusion and explains our next steps.

$n = 49$	t_{no} in s	Nodes	Backtracks	Fails
Original	> 600	> 26684769	> 53369496	> 26684758
Regular	215.807	11188915	22377832	11188916
Improvement	> 2.780	> 2.385	> 2.385	> 2.385

Tab. 5: Statistics for $n = 7 * 7 = 49$

$n = 56$ (300s)	Search 1	Search 2	Search 3	Search 4
Original	0	1140	25	1442
Regular	20512	1463	419	3886
Improvement	∞	1.283	16.76	2.695

Tab. 6: Number of solutions found in $300s$ for $n = 8 * 7 = 56$

5.1 Summary

In this paper we presented a new approach for the optimization of general CSPs using the regular constraint. It was shown that every CSP can be transformed into a regular CSP by transforming primitive and global constraints into regular constraints and using automata intersection and minimization. By means of a rostering example we demonstrated that this approach allows to reduce the size of the search tree and to significantly improve the solution speed.

When comparing the performance of regular CSPs in contrast to the original version of the problem, of course, also the time needed for the transformation must be taken into consideration. Here, our investigations support that our approach can be applied successfully when considering subproblems of a potentially large CSP P and, thus, subsets of its variables X. The reason is the exponential growth of the number of states of the automaton with the number of variables. Transforming only subproblems (instead of P completely) is, thus, much faster and, nevertheless, leads to a reduction of the number of constraints (also the number of backtracks) and of the redundancy which, altogether, improves the solution speed.

5.2 Future work

Future work includes finding good direct transformations for global constraints, investigating promising variable orderings to optimize the size of the DFAs and, similarly, variable and value orderings for the regular constraints, research on potential benefits from decomposition of automata, finding out about general (static) criteria to decide when to apply the approach as well as extracting promising application areas in general.

References

[Ap03] Apt, Krzysztof: Principles of Constraint Programming. Cambridge University Press, New York, NY, USA, 2003.

[Ar94] Arbeitszeitgesetz vom 6. Juni 1994 (BGBl. I S. 1170, 1171), zuletzt geändert durch Artikel 3 Absatz 6 des Gesetzes vom 20. April 2013 (BGBl. I S. 868). http://www.gesetze-im-internet.de/arbzg/BJNR117100994.html, 1994. last visited 2017-05-10.

[Bu13] Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) - Gestaltung von Nacht- und Schichtarbeit. http://www.baua.de/de/Informationen-fuer-die-Praxis/Handlungshilfen-und-Praxisbeispiele/Arbeitszeitgestaltung/Nacht-%20und%20Schichtarbeit.html, 2013. last visited 2017-05-10.

[Ch17] Choco Solver 4.0.1. http://www.choco-solver.org/, 2017. last visited 2017-05-10.

[De03] Dechter, Rina: Constraint processing. Elsevier Morgan Kaufmann, 2003.

[HPvB04] Hellsten, Lars; Pesant, Gilles; van Beek, Peter: A Domain Consistency Algorithm for the Stretch Constraint. In: Principles and Practice of Constraint Programming, 10th International Conference, CP 2004. pp. 290–304, 2004.

[HU79] Hopcroft, John E.; Ullman, Jeffrey D.: Introduction to Automata Theory, Languages and Computation. Addison-Wesley, 1979.

[La12] Lang, Hans Werner: Algorithmen in Java - Sortieren, Textsuche, Codierung, Kryptographie. Oldenbourg Verlag, München, 3rd edition, 2012.

[Ló03] López-Ortiz, Alejandro; Quimper, Claude-Guy; Tromp, John; van Beek, Peter: A Fast and Simple Algorithm for Bounds Consistency of the AllDifferent Constraint. In (Gottlob, Georg; Walsh, Toby, eds): IJCAI-03, Proceedings of the Eighteenth International Joint Conference on Artificial Intelligence. Morgan Kaufmann, pp. 245–250, 2003.

[Ma98] Marriott, Kim: Programming with Constraints - An Introduction. MIT Press, Cambridge, 1998.

[Pa08] Paltzer, Niko: Regular Language Membership Constraint. Seminararbeit, Universität des Saarlandes, Deutschland, 2008.

[Pe01] Pesant, Gilles: A Filtering Algorithm for the Stretch Constraint. In (Walsh, Toby, ed.): Principles and Practice of Constraint Programming, 7th International Conference, CP 2001. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, pp. 183–195, 2001.

[PFL16] Prud'homme, Charles; Fages, Jean-Guillaume; Lorca, Xavier: Choco Documentation. TASC, INRIA Rennes, LINA CNRS UMR 6241, COSLING S.A.S., 2016. http://www.choco-solver.org/.

[RBW06] Rossi, Francesca; Beek, Peter van; Walsh, Toby: Handbook of Constraint Programming. Elsevier, Amsterdam, First edition, 2006.

[Ré94] Régin, Jean-Charles: A Filtering Algorithm for Constraints of Difference in CSPs. In (Hayes-Roth, Barbara; Korf, Richard E., eds): Proceedings of the 12th National Conference on Artificial Intelligence, Volume 1. AAAI Press / The MIT Press, pp. 362–367, 1994.

[vHK06] van Hoeve, Willem-Jan; Katriel, Irit: Global Constraints. In [RBW06], First edition, 2006. Chapter 6.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 615

Using Hypertree Decomposition for Parallel Constraint Solving

Ke Liu[1], Sven Löffler[1] and Petra Hofstedt[1]

Abstract: Multi-core processors or many-core processors have become the standard configuration for computers nowadays. Yet, the mainstream constraint solvers have not fully utilized these available computation resources due to the intrinsic difficulty on decomposing constraint satisfaction problems (CSPs). This paper reviews the previous research in parallel constraint solving and proposes a new approach for mapping constraint networks on multi-core or many-core processors by means of hypertree decomposition. We give theoretical considerations and our plans for future research.

Keywords: CSP, constraint networks, parallel constraint solving, hypertree decomposition

1 Introduction

The constraint programming (CP) community has been engaged in enhancing the performance of solving constraint satisfaction problems (CSPs). The development of sequential methods, e.g. sophisticated propagation algorithms or efficient search algorithms and variable and value selectors, might have been matured. However, research in parallelism in CP is still in its early stage, although much effort has been put into parallel constraint solving.

We propose a structure-driven analysis method to statically decompose the constraint network of a given CSP. Compared to prior dynamical decomposition [RRM13] which allocates the work on demand, we use a statical decomposition method, and we try to equally distribute workload to workers or processors at the beginning. Moreover, the need for communication is reduced in contrast to parallel consistency [RK09] due to tree structure.

This paper is organized as follows. In Sect. 2 we review some background knowledge about tree and hypertree decomposition. We explain how hypertree decomposition can be used to partition a constraint network and we present a theoretical analysis and discussion of the method in Sect. 3. Finally, in Sect. 4 we give a conclusion and discuss future work.

[1] Brandenburg University of Technology Cottbus - Senftenberg, Programming Languages and Compiler Construction, Konrad-Wachsmann-Allee 5, D-03044 Cottbus, {Ke.Liu, Sven.Loeffler, Petra.Hofstedt}@b-tu.de

doi:10.18420/in2017_58

2 Preliminaries

A *constraint network* $\mathcal{R}$ is a triple (X, D, C), which consists of:

- a finite set of variables $X = \{x_1, \ldots, x_n\}$,
- a set of respective finite domains $D = \{D_1, \ldots, D_n\}$, where D_i is the domain of the variable x_i, and
- a set of constraints $C = \{c_1, ..., c_t\}$, where a constraint c_j is a relation R_j defined on a subset of variables S_j, $S_j \subseteq X$.

Any constraint network can be graphically represented by a *hypergraph*. A hypergraph $\mathcal{H}$ is a tuple (V, E), where V is a set of vertexes and E is a set of *hyperedges*. A hyperedge of a hypergraph is composed of two or more vertexes, which makes hyperedges fundamentally different from normal edges in a graph. Any constraint in a given constraint network corresponds to a hyperedge in a hypergraph, and the variables of a constraint can be seen as vertexes of a hyperedge.

A *hypertree* of a hypergraph $\mathcal{H}$ is a triple (T, χ, λ), where $T = (V_T, E_T)$ is a tree, χ and λ are labeling functions. We denote a set of variables for a given node ($node_i$) in a hypertree by v_i. Therefore, $v_i = \chi(node_i)$ and $v_i \subseteq 2^{vertexes(\mathcal{H})}$, where $vertexes(\mathcal{H})$ are vertexes of hypergraph $\mathcal{H}$. Similarly, we denote a set of edges of $node_i$ by e_i. Therefore, $e_i = \lambda(node_i)$ and $e_i \subseteq 2^{edges(\mathcal{H})}$, where $edges(\mathcal{H})$ are hyperedges of hypergraph $\mathcal{H}$. By $root(T)$ we denote the root of a tree T, for every $p \in V_T$, let T_p denote the subtree of T with root p. The *width of a hypertree* is the maximum number of hyperedges among the nodes of it, which is given by $hw(T) = max \mid \lambda(p) \mid, \forall p \in V_T$.

Hypertree decomposition is a procedure, which converts a hypergraph into a hypertree. In order to demonstrate hypertree decomposition on a given constraint network, assume we have a simple problem over a set of variables $\{x_1, \ldots, x_{10}\} \subseteq X$ modeled by the following constraints[2]

- $atLeastNValues(x_1, x_2, x_3)$
- $allDifferent1(x_3, x_4, x_5, x_7)$
- $allDifferent2(x_1, x_4, x_6, x_9)$
- $table1(x_5, x_8, x_{10})$
- $table2(x_7, x_8, x_9)$
- $arithm1(x_5, x_6)$

[2] The name of the constraints is consistent with the name of constraints used in the Choco Solver [PFL16].

- $arithm2(x_6, x_8)$

The hypergraph for this constraint network is depicted in Figure 1, where the variables x_i, $i \in \{1, \ldots, 10\}$ are the vertexes, while the edges are represented by the enclosing ellipses. Figure 2 shows a possible hypertree decomposition of this hypergraph.

Given a hypergraph $\mathcal{H}$ and a constant k, deciding whether $hw(T) \leq k$ for a hypertree T received by decomposition of $\mathcal{H}$ is *NP-complete* [Go05]. However, it is feasible to determine, whether there exists a hypertree decomposition T for k, such that $hw(T) \leq k$. Furthermore, to compute a hypertree decomposition with width $\leq k$ for a given hypergraph is in polynomial time [GLS99]. Herein, we do not go into details of hypertree decomposition algorithm. For more details of the hypertree decomposition algorithm *det-k-decomp*, please refer to [GS08].

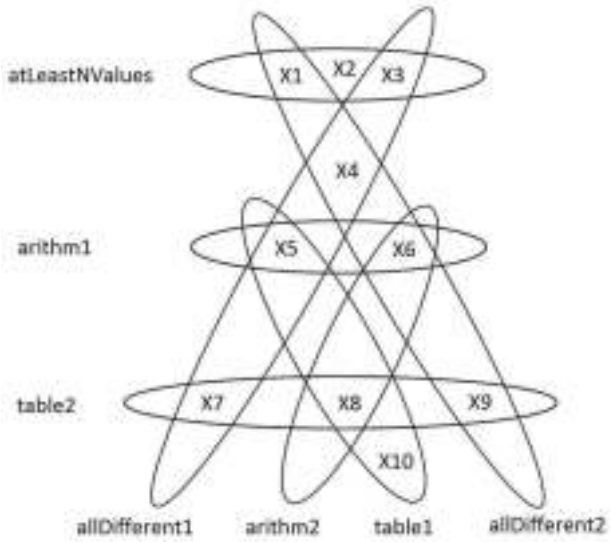


Fig. 1: The Hypergraph for the Constraint Network. This graph is recomposed based on [GLS03]

3 Parallel Solving Constraint Satisfaction Problem

Constraint programming and its solvers are typically used to tackle NP-complete problems. Thus, to obtain better performance, we naturally think of utilizing parallel computing to gain performance improvements. Of course, the growth of the number of cores can hardly overtake the growth of problem size which might be exponentially in the input size. However, one possible way to deal with large CSPs is to decompose its constraint networks into a number of connected sub-networks. This claim is based on the following

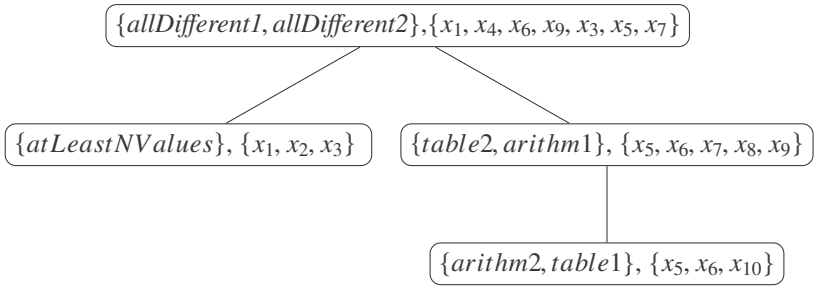


Fig. 2: Hypertree Decomposition for Hypergraph 1. This graph is recomposed based on [GLS03]

simple analysis. Let's assume a constraint network $\mathcal{N}$ with number of variables n, and the maximum domain size among all variables is d. Thus, the worst case execution time is $O(d^n)$. But if the constraint network could be divided into the number of s sub-networks, the worst case execution time for the given problem would be $s * d^{\frac{n}{s}}$, which can result in much less computation work than the original problem. Moreover, the speedup of parallel execution of s subproblems is $o(d^{n(1-\frac{1}{s})})$, which is a significant performance improvement. Note that this improvement is based on the assumption that the s subproblems are disjoint. However, completely disjoint subproblems for a constraint network are uncommon in practical problems. Thus, it is necessary to decompose the constraint network into a tree network because the tree structure implies the network is tractable [Fr82, DP87, RVBW06]. After obtaining the decomposition tree T, backtrack-free search can be realized along a topological ordering d of T, if T is directional arc-consistent relative to d [De03]. Each node of the decomposition tree T consists of tuples that are the outcomes from solving the subproblems. At the moment, the decomposition tree T can be viewed as a binary representation of the original non-binary constraint network.

In short, we propose a procedure that solves constraint programming in parallel with the following four steps:

1. Decompose the hypergraph of the original constraint network into a tree in which the number of the tree nodes is equal to the number of cores on the processors.
2. Simultaneously solve the sub-network on each node of the decomposition tree.
3. Perform directional arc-consistency along a topological ordering of the decomposition tree.
4. Combine all solutions starting from the root node along the topological ordering.

Alternatively, if the goal is to find one solution, the steps 3 and 4 can be replaced by a join selection algorithm (eg., Hash Join) known from relational databases.

3.1 Hypergraph decomposition

The purpose of hypergraph decomposition for a given constraint network in our approach is twofold. First, hypergraph decomposition is a way to statically map the workload evenly to the processors. Second, the tree structure of the resulting hypertree reduces the number of communications in comparison to other mapping approaches. For example, the worst case of a mapping approach for a constraint network requires $\binom{n}{2}$ communications (i. e. a complete graph); in contrast, mapping with hypertree decomposition requires $n - 1$ communications, where n is the number of edges in the communication graph after mapping.

Hypertree decomposition dominates all other decomposition methods (eg., cycle cutset, hinge decomposition) [GLS00, Le13] because it is the most general decomposition algorithm. Nevertheless, the original *det-k-decomp* algorithm [GS08] was not designed for executing CSPs in parallel. Two reasons make it unsuitable for our application scenario. First of all, if the width k is large and the hypergraph has many hyperedges, then the exact algorithm may take long execution time [Go16]. Furthermore, the parameter k only guarantees the width of a decomposition tree is k, which means k is the largest number of constraints among all nodes of the decomposition tree. This also implies that the nodes may have width from 1 to $k - 1$. However, k, fairly often, need to be larger than 10 in our case. For instance, assume a constraint network is composed of 104 constraints. In order to map 104 constraints onto 8 cores, a good choice of k for load balancing could be 13. Our experiments of decomposing hypergraph using *det-k-decomp* shows that it cannot avoid generating a hypertree decomposition that has nodes with width smaller than k.

In order to map constraints to cores, we investigated a new procedure to merge nodes of a hypertree decomposition on the basis of *det-k-decomp*. The outcome of the merge process follows three basic principles: the acyclic property of the hypertree decomposition must not be destroyed, the number of nodes of the new hypertree decomposition must be equal to the number of cores (or logical cores), and the set of solutions for the two constraint network must be equivalent.

3.2 Parallel Framework

In this subsection, we briefly sketch the parallel framework to run multiple constraint solvers on different worker threads simultaneously. Our framework applies two means to coordinate worker threads. Firstly, the main thread waits for all worker threads to finish their tasks, and afterwards it begins to perform directional arc-consistency [De03]. This method allows to deals with small constraint network problems, where waiting for all working threads to finish is affordable. Yet, if the problem is non-trivial, then to wait for all solutions of the single solving processes is unaffordable (e. g., it may take several hours). Therefore, it is necessary to timely share partial solutions to the main thread which is responsible for performing steps 3 and 4 (cf. Sect. 3.1). This synchronization is the second means for the coordination of the worker threads.

```
1  l_start = current time ;
2  l_end = ZERO ;
3  INTERVAL = constant time interval ;
4  while solver still has a solution do
5  |   add the solution into the synchronized shared variable ;
6  |   l_end = current time ;
7  |   if l_end -l_start ≥ INTERVAL then
8  |   |   pause this working thread ;
9  |   end
10 end
```

Algorithm 1: *Working thread as a Producer*

Algorithm 1 shows that the working threads as producers are synchronized by a timer. This way might be better than, e. g., using a unified number of solutions to coordinate the working threads because it is hard to predict the execution time for different solvers. In line 8 of Algorithm 1, the working thread pauses itself if the time is up. Then the consumer thread blocks itself by the same time interval rate, as shown line 2 of Algorithm 2, and gathers the partial solutions from the working threads. Afterwards, the working threads are resumed by the consumer thread. The advantage of this mechanism is that each solver can continue searching at the same point of the backtracking search tree after resuming and enable the consumer thread working without staying idle. The whole procedure can also be seen as a two-stage pipeline.

```
1  INTERVAL = constant time interval ;
2  while !awaitTermination(INTERVAL) do
3  |   gather solutions from working threads ;
4  |   resume all unfinished working threads ;
5  end
```

Algorithm 2: *Main thread as Consumer*

4 Conclusion and Future Work

In this paper, we have presented a new approach on parallel solution of constraint problems using hypergraph decomposition. Up to now, we have just implemented and verified parts of the project. Therefore, future work will, first of all, focus on completing implementation and on verification of the theoretical analysis by more experiments. Furthermore, the following questions should be addressed. First, what is the best algorithm for the join operation to get solutions in the last step; can we, possibly, directly port join algorithms from the database community? Second, which is better between the tight constraint or loose constraint for each solver? In other words, more jobs are assigned to constraint solver or more jobs are left to join selection step? Third, how to cope with memory explosion when several solvers execute simultaneously and generate a huge amount of intermediate solution tuples? Should we

apply data compression techniques? If so, how do we find the trade-off between performance and compression ratio?

References

[De03] Dechter, Rina: Constraint processing. Morgan Kaufmann, 2003.

[DP87] Dechter, Rina; Pearl, Judea: Network-based heuristics for constraint-satisfaction problems. Artificial Intelligence, 34(1):1–38, 1987.

[Fr82] Freuder, Eugene C: A sufficient condition for backtrack-free search. Journal of the ACM (JACM), 29(1):24–32, 1982.

[GLS99] Gottlob, Georg; Leone, Nicola; Scarcello, Francesco: Hypertree decompositions and tractable queries. In: Proceedings of the eighteenth ACM SIGMOD-SIGACT-SIGART Symposium on Principles of Database Systems (PODS). ACM, pp. 21–32, 1999.

[GLS00] Gottlob, Georg; Leone, Nicola; Scarcello, Francesco: A comparison of structural CSP decomposition methods. Artificial Intelligence, 124(2):243–282, 2000.

[GLS03] Gottlob, Georg; Leone, Nicola; Scarcello, Francesco: Robbers, marshals, and guards: game theoretic and logical characterizations of hypertree width. Journal of Computer and System Sciences, 66(4):775–808, 2003.

[Go05] Gottlob, Georg; Grohe, Martin; Musliu, Nysret; Samer, Marko; Scarcello, Francesco: Hypertree decompositions: Structure, algorithms, and applications. In: International Workshop on Graph-Theoretic Concepts in Computer Science. LNCS 3787. Springer, pp. 1–15, 2005.

[Go16] Gottlob, Georg; Greco, Gianluigi; Leone, Nicola; Scarcello, Francesco: Hypertree decompositions: Questions and answers. In: Proceedings of the 35th ACM SIGMOD-SIGACT-SIGAI Symposium on Principles of Database Systems (PODS). ACM, pp. 57–74, 2016.

[GS08] Gottlob, Georg; Samer, Marko: A backtracking-based algorithm for hypertree decomposition. Journal of Experimental Algorithmics (JEA), 13, 2008.

[Le13] Lecoutre, Christophe: Constraint Networks: Targeting Simplicity for Techniques and Algorithms. John Wiley & Sons, 2013.

[PFL16] Prud'homme, Charles; Fages, Jean-Guillaume; Lorca, Xavier: Choco Documentation. 2016. `http://www.choco-solver.org`.

[RK09] Rolf, Carl Christian; Kuchcinski, Krzysztof: Parallel Consistency in Constraint Programming. In: International Conference on Parallel and Distributed Processing Techniques and Applications, (PDPTA). pp. 638–644, 2009.

[RRM13] Régin, Jean-Charles; Rezgui, Mohamed; Malapert, Arnaud: Embarrassingly parallel search. In: International Conference on Principles and Practice of Constraint Programming. LNCS 8124. Springer, pp. 596–610, 2013.

[RVBW06] Rossi, Francesca; Van Beek, Peter; Walsh, Toby: Handbook of constraint programming. Elsevier, 2006.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 623

Optimizing Enterprise Architectures Using Linear Integer Programming Techniques

Simon Hacks and Horst Lichter[1]

Abstract: Within this paper, we present a technique to optimize the relations between two adjacent layers of Enterprise Architectures (EA). Therefore, we suggest to interpret the constraints between these two layers as triangles, where a needed capability of an upper layer element is realized by a lower layer element. This eases the communication of the optimization model e.g. to the management. Moreover, we propose a mapping between the elements of our technique to the widely accepted ArchiMate notation to enable the application of our technique in existing organizations.

Keywords: Enterprise Architecture, Enterprise Architecture Management, Linear Integer Programming, Optimization, ArchiMate

1 Introduction

According to ISO/IEC/IEEE 42010:2011 [III11] architecture is defined as the "fundamental concepts or properties of a system in its environment embodied in its elements, relationships, and in the principles of its design and evolution". Consequently, Enterprise Architecture (EA) is about organization's elements and their relations.

To differentiate between the architecture model and its management we stick to the definitions given by [PS04] and [Ro94] defining EA as a model of an organization describing its primary components and the relations and interactions among them.

Enterprise Architecture Management (EAM) is a discipline comprising all functions which are related to the EA, like maintaining the EA itself, but also providing information gathered from the EA. EAM has developed to an established discipline in industry and it is also a current topic in research.

The origins of EAM date back to 1987 when Zachman published the "framework for information systems architecture" [Za87]. Since then, it was recognized that a limited view, focusing on the information system architecture only, is not sufficient. Therefore, present EAM frameworks include the management of business capabilities, infrastructure components, and information structures, too [WF06].

[1] RWTH Aachen University, Research Group Software Construction, Ahornstraße 55, 52074 Aachen, {hacks, lichter}@swc.rwth-aachen.de

doi:10.18420/in2017_59

Obviously, the beforehand stated properties of EA allow to interpret the EA as a graph, where EA's elements are vertices and their relationships are edges. The different layers of EA can be represented by sets of vertices.

As we can represent an EA as a graph, we can apply existing graph algorithms to solve problems within the domain of EA. For instance, the well known Travelling Salesperson Problem (TSP) can be formulated as a Linear Integer Program (LIP) on a graph [Ap11, pp. 1-5]. This universal formulation allows to apply this solution to other domains like genome sequencing, drilling problems, or data clustering [Ap11, pp. 59-70].

Previous research shows that information technology (IT) has become more important for business during the last decades and changes business models dramatacly [BL08, OS00]. Simultaneous, the IT pervades the business more and more and becomes ubiquitous [VSM10]. This rises also the complexity of the information systems and their interrelations [LW01]. With rising complexity of the information systems it becomes harder to ensure the IT/business alignment.

One way to achieve the IT/business alignment is EAM [AW09, Pl07]. Corresponding to the maturity of the EAM [AWW12] different goals are aimed. For example, the IT landscape should be consolidated to reduce costs or to identify functional redundancies between business and IT. To support those goals different techniques are feasible.

In the following, we propose an graph-based technique to improve EAs with respect to loose coupling, minimal amount of elements, and minimal operation costs, using LIP. We use the metaphor of triangles to build up our LIP, which is more intuitively compared to other techniques (e.g. [Fr10, Gi12]). Those techniques optimize EAs using graphs and LIP.

The rest of the paper is structured as follow: In Section 2 we discuss related work and demonstrate the improvement potentials we overcome with our technique presented in Section 3. Afterwards, we propose a mapping between the elements used in our technique and ArchiMate to ease the application in organizations, before we come to the conclusion and point out further extensions to our technique.

2 Related Work

Beforehand, we discussed the need for techniques to support EAM. Within the scientific community, different techniques were proposed. In the following, we will present those techniques using mathematical programming in EAM related topics:

[Gi12] present a multiobjective program to solve the "information system architecture evolution management problem"which handles the issue of scheduling the replacement of existing services with new services without discontinuity. Therefore, they model departments, existing services, new services, and IT modules. Moreover, they link services and modules, departments and services and attach certain costs to changes on the model. Each department

obtains budgets to finance new modules and retire old ones. Using this model, they maximize the business gain and the killing gain with respect to different constraints.

The approach of [ST03] is slightly different compared to [Gi12]. Where [Gi12] assume a single organization, [ST03] optimize the IT landscape in a supply chain environment. Furthermore, they do not assume killing costs but various purchasing and integration costs at varying points in time and optimize via a LIP the net profit.

[Fr10] want to find the optimal allocation of IT systems to processes with respect to needed functionalities. These functionalities are needed by processes and fulfilled by certain systems. In a second step the functionalities are dissolved and the processes and systems are connected directly. These connections describe the as-is state. Taking change costs and operations costs into account, they optimize the allocation of the IT systems via a binary integer program.

All these approaches have in common that they focus on the mathematical formulation and solving the model. Thereby, they neglect the aspect of communication to EAM's stakeholder like managers. These managers may not have the ability to understand intuitively the mathematical models. Therefore, there is a need to offer a more intuitive and understandable approach to model EA in order to identify deficiencies that can be improved. Furthermore, such an approach should increase its acceptance and applicability in industry.

3 An Optimization Model for Enterprise Architectures

3.1 Foundations

As presented by [WF06], an EA is structured in a layered manner. Each layer contains different architectural elements, which have relations to other elements of the same layer as well as relations to architectural elements of adjacent layers. We assume that each layer offers capabilities to the layer that is defined on top of it to realize its needed functions and behavior. In the following, we will refer to the layer offering capabilities as the "lower layeränd call the layer using these capabilities the "upper layer". Hereafter, we will describe these layers and elements more vividly:

We want to optimize the relations between the elements of two adjacent layers. For instance, taking an ArchiMate notated EA in account, we may want to optimize the relations between the business layer and the application layer. The business layer contains some business functions, which should be realized by several application components. Therefore, each business function is connected to all necessary capabilities and each application component is connected to all capabilities it realizes. Based on the relations between the architectural elements and the capabilities, we suggest a technique to find the "optimal"relations between the elements of the adjacent layers. In our case, "optimal"can stand for e.g. a minimal amount of elements or minimal costs.

To be more concrete, assume that the business layer contains the business function *Personnel Management*, which requires e.g. the capabilities *Hire Employee*, *Calculate Wage*, and *Record Written Warning*. These capabilities can be realized either by two different application components or one single application component. Depending on the understanding of "optimal", different solution scenarios are feasible.

Following, we will use a simplified EA model sketched in Figure 1. It contains two adjacent layers and a set of capabilities. Each architectural element of the upper layer, ul_i, is related to several capabilities, c_j, which are needed to realize ul_i.

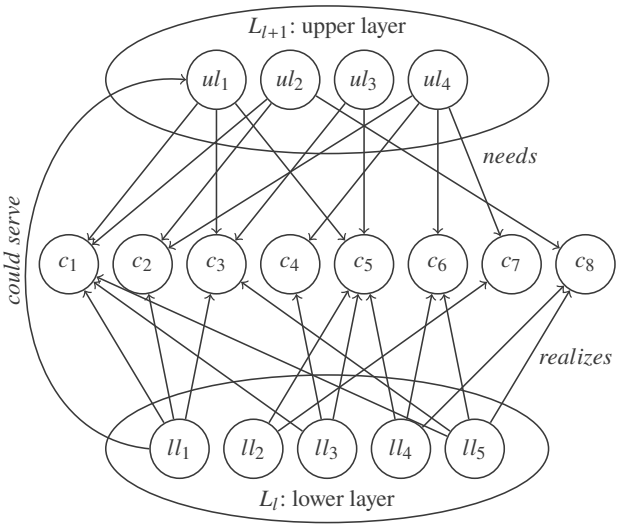


Fig. 1: Example Enterprise Architecture.

Having a look from the lower layer, there are several architectural elements, ll_k, which realize different capabilities, c_j, defined by the relation ll_k to c_j. Based on this structures, we want to optimize the relations between the upper and the lower layer elements to different subjects.

Before we dive into the optimization, we define the used EA model more formal:

An enterprise architecture is a quadruple $EA = \mathcal{L}, \mathcal{C}, E, R$ comprising an ordered set $\mathcal{L}$ of layers, a set $\mathcal{C}$ of capability sets, a set E of architectural elements, and a set R of relations.

Each layer $L \in \mathcal{L}$ consists of architectural elements and layers are disjunct:

$$L_i \cap L_j = \emptyset \quad | \quad \forall L_i, L_j \in \mathcal{L}, i \neq j \tag{1}$$

For each two adjacent layers, L_l and L_{l+1}, there is a set of capabilities $C_{L_l, L_{l+1}} \in \mathcal{C}$. Each capability describes some specific behaviour, which can be only offered by a certain layer; therefore, all these capability sets are disjunct:

$$C_i \cap C_j = \emptyset \quad | \quad \forall C_i, C_j \in \mathcal{C}, i \neq j \tag{2}$$

A relation is a tuple of an architectural element and a capability:

$$r \in R \subseteq \{e, c : e \in L_l, L_{l+1}, c \in C_{L_l, L_{l+1}}\} \tag{3}$$

We want to find the "optimalßet of relations between the elements of the upper and the lower layer using beforehand stated foundations. Therefore, we create a complete bipartite graph between the layers L_l and L_{l+1}:

$$r_I^{l,l+1} \in R_I^{l,l+1} \equiv \{ul, ll : ul \in L_{l+1}, ll \in L_l\} \,|\, L \in \mathcal{L} \tag{4}$$

This intermediately introduced relations represent all possible connections between the two adjacent layers with no respect to constraints given by the relations between architectural elements and capabilities.

3.2 Applying the Modeling Approach to ArchiMate

To illustrate our EA modelling approach based on layers and capabilities, we applied our approach for ArchiMate modelled EAs, as ArchiMate [La04] is a widely accepted and used EA modelling language.

For the sake of simplicity, we considered only the element types of three ArchiMate layer: business layer, application layer, and technology layer. Those layers contain element types like processes or software, which are related to each other. Within the chosen layers, we disregarded the passive structure element types, since they all represent some kind of information objects in different ways, which cannot be linked to some kind of capabilities.

Table 1 shows the mapping of ArchiMate modelling element types to the three considered layers and the respective capabilities.

We mapped the Application Function element type of ArchiMate to a capability, because it can describe a requirement the business has for an application. Business Process and Business Function, modeling the overall structure of an organisation and how the organisation realizes the value chain, can be obviously mapped to element types of the upper layer. These element types may need some application support from the Application Layer, which can be represented by the element types Application Component, Application Collaboration, or Application Process, realizing the needed capabilities, i.e. Application Functions.

Similarly to Application Function, we mapped the Technology Function element type to a capability describing the needs of the element types of the Application Layer. Furthermore,

	ArchiMate Element Type											
	Business Process	Business Function	Application Component	Application Collaboration	Application Function	Application Process	Node	Device	System Software	Technology Collaboration	Technology Function	Technology Process
Business Layer	•	•										
Capability					•							
Application Layer			•	•		•						
Capability											•	
Technology Layer							•	•	•	•		•

Tab. 1: Suggested Mapping for ArchiMate Element Types to Proposed Sets.

Technology Collaboration and Technology Process can be mapped to element types of the lower layer. Unfortunately, there is no element type called “Technology Component". Instead, the element type Node can be used to offer certain functionalities to the Application Layer. Furthermore, it aggregates Device, which represents hardware resources, and System Software, which represents software resources. Moreover, these aggregated element types are also needed to realize the functionality of the Application Layer and, consequently, are mapped to elements of the lower layer.

3.3 Different Optimization Subjects

Beforehand, we formulated a formal description of an EA model. Based on this formal description, we postulated a mapping for ArchiMate. Next, we will define several different objectives to optimize the EA model.

Optimizing with Respect to Minimal Coupling

Loose coupling between two components eases the interchangeability [SM96]. Hence, the exchange of a single component will not be as expensive as in a highly coupled system. This holds also for EAs. Consequently, managers might be interested to find the minimal coupling between EAs elements.

Optimizing the EA with respect to a minimal coupling between two adjacent L_l and L_{l+1}, we have to minimize the amount of used intermediate relations, $r_I^{l,l+1}$. Consequently, those $r_I^{l,l+1}$ represent the optimization variables of our LIP:

$$min \quad x_{r_I^{l,l+1}}, \tag{5}$$

where $x_{r_I^{l,l+1}} \in \{0,1\}$ and $x_{r_I^{l,l+1}} = 1$ means that $r_I^{l,l+1}$ is in the optimal solution and $x_{r_I^{l,l+1}} = 0$ means that it is not in the optimal solution.

To guarantee the restrictions sketched in Figure 1 we have to define several constraints. To ensure for each upper element that every capability which is needed will be served in the solution, there has to be at least one relation between an upper layer element and a lower layer element which supports this capability:

$$\sum_{r_I \in S^R_{ul_i,c_j}} x_{r_I^{l,l+1}} \geq 1 \quad | \forall S^R_{ul_i,c_j} \in \mathcal{S}^R, \tag{6}$$

with $\mathcal{S}^R \ni S^R_{ul_i,c_j} \subseteq R_I^{l,l+1}$. Where $\mathcal{S}^R$ contains all intermediate relations which are taken into account for the optimization and $S^R_{ul_i,c_j}$ contains all intermediate relations between ul_i and ll_k, where ll_k has a relation to c_j:

$$S^R_{ul_i,c_j} = \{ul_i, ll_k \in R_I^{l,l+1}\} \quad | \forall ul_i, c_j \in R, \forall ll_k, c_j \in R \tag{7}$$

To easily create all $S^R_{ul_i,c_j}$ we can create a maximum flow problem [HR55] for each connection between the upper layer elements and the related capabilities. Therefore, we introduce additional nodes: a source s, and a sink t. We connect s to ul_i and replace all upper layer elements in intermediate relations, $r_I^{l,l+1}$, by t. Furthermore, we introduce the capacity of a relation as a mapping $\mathfrak{c} : R \cup R_I^{l,l+1} \cup s, ul_i \rightarrow \mathbb{R}^+$ denoted by $\mathfrak{c}u, v$. The capacity defines the maximum amount of flow which can pass a relation.

A flow of a relation is a mapping $\mathfrak{f} : R \cup R_v \cup s, ul_i \rightarrow \mathbb{R}^+$ denoted by $\mathfrak{f}u, v$ with subject to two constraints. First, the flow cannot exceed its capacity:

$$\mathfrak{f}u, v \leq \mathfrak{c}u, v \quad | \forall u, v \in R \cup R_v \cup s, ul_i \tag{8}$$

Second, the sum of the entering flows must equal the sum of the leaving flows:

$$\sum_{u:u,v \in R} \mathfrak{f}u, v = \sum_{u:u,v \in R} \mathfrak{f}v, u \,|\, \forall v \in L_l \cup L_{l+1} \cup C_m \tag{9}$$

Before we apply e.g. the algorithm of [FF56] or [Di70] to solve the maximum flow problem, we set the capacity of all intermediate relations, $r_I^{l,l+1}$, to 1 and the capacity of all other relations to infinity. After the application, we add all intermediate relations whose flow is 1 to $S^R_{ul_i,c_j}$.

Figure 2 shows a subset of the EA in Figure 1. It contains ul_1 and all related capabilities, all ll_k which offer those capabilities, and the intermediate relations represented by the dashed lines. For instance, solving the maximum flow problem and creating the necessary set for the relation between ul_1 and c_1 leads to

$$S^R_{ul_1,c_1} = \{ul_1, ll_1, ul_1, ll_3\}, \tag{10}$$

which, consequently, creates the following constraint in our LIP:

$$x_{ul_1,ll_1} + x_{ul_1,ll_3} \geqslant 1. \tag{11}$$

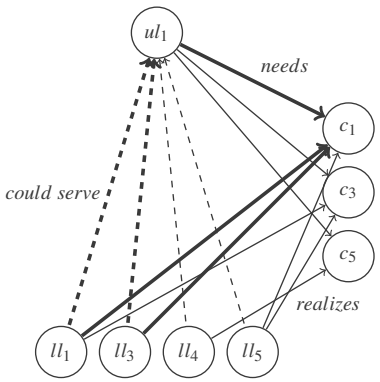


Fig. 2: Visualization of $S^R_{ul_1,c_1}$.

Those constraints ensure that in the final solution, proposed by the LIP solver, at least one intermediate relation between the upper and the lower layer element is used, which are both related to the same capability. This leads to a distinctive structure stressed out in Figure 2 by the thicker lines: a triangle. These triangles describe the constraints which have to be included in a later solution.

Optimizing the Amount of Needed Lower Layer Elements

The beforehand stated foundations can also be used to optimize the amount of needed lower layer architectural elements. Managers might want to have the minimal amount of elements in a certain layer to reduce the needed knowledge to maintain those elements.

To achieve the minimal amount of elements, we have to adjust the optimization function (5) and the constraints (6) from relations to lower layer elements. This leads to following optimization function:

$$min \sum_{ll \in L_l} x_{ll}. \tag{12}$$

The constraints are constructed by using the lower layer elements as well:

$$\sum_{ll \in S^E_{ul_i,c_j}} x_{ll} \geq 1 \quad | \forall S^L_{ul_i,c_j} \in \mathcal{S}^L, \tag{13}$$

with $\mathcal{S}^E \ni S^E_{ul_i,c_j} \subseteq L_l$ containing all lower layer elements which are part of the intermediate relations between ul_i and ll_k, where ll_k has a relation to c_j:

$$S^E_{ul_i,c_j} = \{ll_k : ul_i, ll_k \in R_v\} \quad | \forall ul_i, c_j \in R, \forall ll_k, c_j \in R \tag{14}$$

According to the aforementioned example, solving the maximum flow problem creates

$$S^E_{ul_1,c_6} = \{ll_4, ll_5\}, \tag{15}$$

which leads to following constraint:

$$x_{ll_4} + x_{ll_5} \geqslant 1. \tag{16}$$

Optimizing Operational Costs

Managers are typically assessed by the costs which occur in their area of response. Consequently, they are often interested in reducing cost without losing functionality.

To optimize the operational costs, we have to apply slightly changes to (12) by introducing an operational cost function $\mathfrak{o} : E \to \mathbb{R}^+$ denoted by $\mathfrak{o}e$:

$$min \sum_{ll \in L_l} \mathfrak{o} x_{ll}. \tag{17}$$

For simplicity reasons we assume that the operational costs are constant and not affected neither by lower layer elements attached to the considered element nor by relations between elements within the same layer.

3.4 Applying the Optimization Model

Following, we examine our model to check two aspects. First, we check if the proposed solutions are optimal. Second, we like to ensure that our approach is solvable for realistic problems in adequate time.

Exemplary Application

To test our previous formulated LIPs we translated the EA in Figure 1 to Java code and transformed it into a LIP which was solved by LPsolve[2]. Following, we will present the results of the optimization. For reasons of simplicity, we split up the graph in four subgraphs. Each subgraph represents the proposed solution for one upper layer element including the assigned capabilities and lower layer elements.

The results regarding the minimal coupling optimization are presented in Figure 3. The result set contains ten relations between the upper and the lower layer elements, which create the enforced twelve triangles. Furthermore, all five lower layer elements are used.

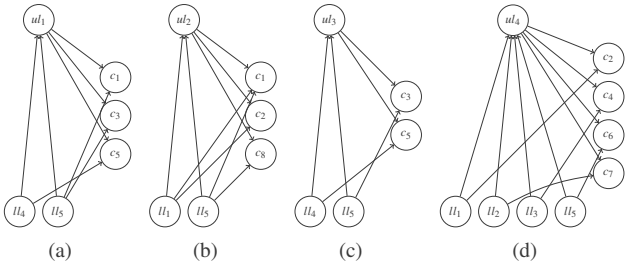


Fig. 3: Solution With Respect to a Minimal Coupling.

Figure 4 sketches the results of of the optimization regarding the minimal amount of lower layer elements. An optimal solution contains four elements as LPsolve suggests to exclude ll_5. Since the LIP optimizes only the amount of lower layer elements, it tells nothing about the concrete assignment of upper to lower layer elements. Therefore, we suggest relations using solid lines as well as all other possible relations using dashed lines.

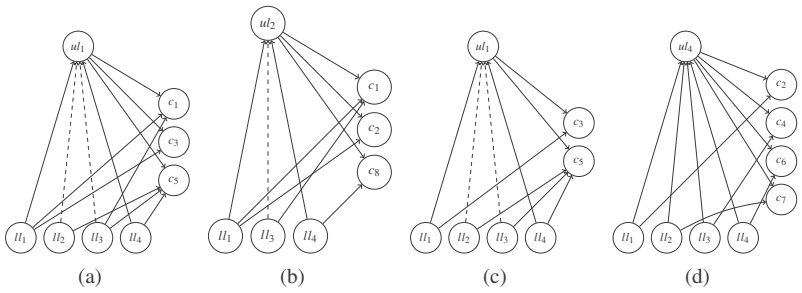


Fig. 4: Solution With Respect to Minimal Lower Layer Element Amount.

To process the optimization with respect to minimal lower layer element costs, we assigned costs stated in Table 2 to the lower layer elements. In Figure 5 we visualized the results. Compared to Figure 4, LPsolve suggests to exclude ll_4 instead of ll_5 what leads to total costs of 17.

[2] https://sourceforge.net/projects/lpsolve/

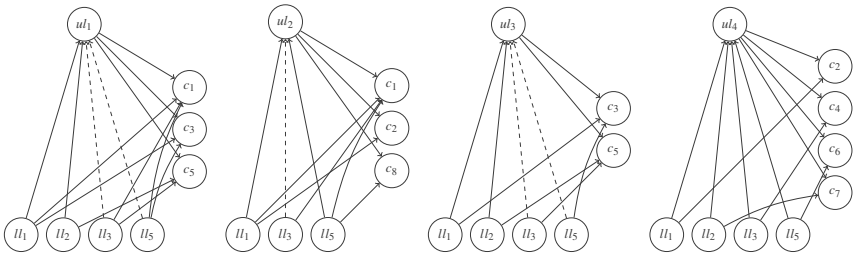


Fig. 5: Solution With Respect to Minimal Lower Layer Element Costs.

	ll_1	ll_2	ll_3	ll_4	ll_5
Assigned Cost	5	3	8	4	1

Tab. 2: To Lower Layer Elements Assigned Costs.

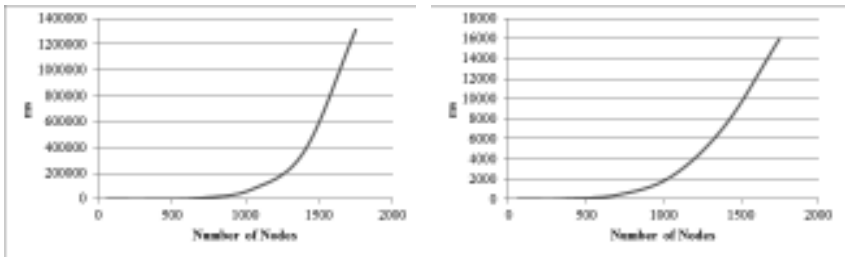
Does the Approach Scale?

We performed a series of experiments to evaluate if the proposed optimization approach is applicable for realistic industry-sized EAs. To this end, we randomly generated graphs consisting of 60 to 1750 nodes and measured the execution time needed to propose a solution for three optimization scenarios. Each generated graph is spit into two layers and the linking capabilities.

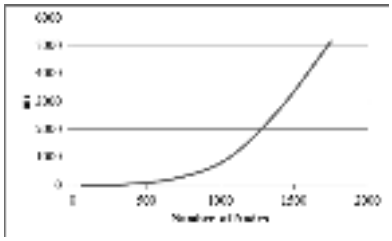
The obtained results are depicted in Fig. 6. The maximum execution time to compute a solution for the minimal coupling optimization scenario applied on a 1750 node graph was nearly 22 minutes (cf. Fig. 6 (a)). In contrast, applied on the same graph the optimizations regarding the minimal amount of lower layer elements and lower layer elements minimal costs took only 16 (cf. Fig. 6 (b)) respectively 5 seconds the longest (cf. Fig. 6 (c)). These remarkable differences can be explained by the fact that the constraints in the minimal coupling optimization scenario are strongly based on the relations between the layer elements and the capabilities. As each layer element is linked to several capabilities, the number of constraints grows faster compared to the other both optimizations scenarios.

The three scenarios have in common that the solution space is based on the cross product between the nodes of the two layers. Therefore, the execution time is growing exponentially in all three scenarios.

Unfortunately, only less data regarding the size of realistic EAs is available (Schoonjans reports on an EA consisting of 108 nodes [Sc16], Lagerstrom on one consisting of 407 nodes [La13]). Although the EA of one of our cooperation partners contains approximately 6000 nodes, the maximum number of elements which can be taken in account for a specified



(a) Minimal Coupling (b) Minimal Lower Layer Element Amount



(c) Minimal Lower Layer Element Costs

Fig. 6: Execution Time Consumption

layer is below 500. Unfortunately, as no elements of this EA can be assigned to capabilities, we could not run our experiments on this EA as well.

Assuming that ordinary EAs are not significantly bigger, the execution time needed for all three optimization scenarios will be acceptable, especially because these optimizations need not to be applied frequently.

4 Conclusion

IT has become more important for business during the last decades and it changes commercial models dramatacly, which rises also the need for IT/business alignment. One way to ensure the IT/business alignment is EAM. To support EAM different techniques are feasible. In this paper we presented a technique to optimize the EA with focus on the relations between two adjacent layers.

Therefore, we introduced so called capabilities which are needed by the elements of the upper layer and are realized by the elements of the lower layer. We translated these construct into a LIP and searched for the optimal assignment between the elements of both layers. If we visualize these constraint, we see that the LIP has to ensure the existence of triangles.

Those triangles make it easier to give e.g. managers an insight into the LIP, because the constraints become more vivid and, therefore, easier to understand. This leads to a higher

acceptance of the solution compared to existing solutions and, consequently, rises the chance to apply it.

Moreover, we presented a mapping between the elements of our technique and the widely accepted ArchiMate notation to enable organizations applying our approach. This mapping enables an optimization between the business and the application layer as well as between the application and the technology layer. Therefore, we identified the possible candidates for upper layer, lower layer, and capability elements. Additionally, we could show that our approach solves problems of a realistic size in appropriate time and, thus, is applicable to real world problems.

With respect to existing solutions, there are several possible extensions to our approach. First, we do not take the as-is state of the EA into account. But changes to the EA, as may suggested by our technique, cause transition costs, which can decrease the savings of the optimal solution. Second, we can assume different points in time with different costs and profit to predict the optimal time for each change. Third, we assume no dependencies between our elements within one layer. But there are such dependencies in reality. Therefore, our model should be extended in this direction. Last, the model need to be evaluated in existing organization. Even to test if the suggested optimizations really lead to savings.

References

[Ap11] Applegate, David L.; Bixby, Robert E.; Chvatal, Vasek; Cook, William J.: The traveling salesman problem: a computational study. Princeton university press, 2011.

[AW09] Aier, Stephan; Winter, Robert: Virtual Decoupling for IT/Business Alignment – Conceptual Foundations, Architecture Design and Implementation Example. Business & Information Systems Engineering, 1(2):150–163, 2009.

[AWW12] Aier, Stephan; Winter, Robert; Wortmann, Felix: Entwicklungsstufen des Unternehmensarchitekturmanagements. HMD - Praxis der Wirtschaftsinformatik, 284(49):15–23, 2012.

[BL08] Buhalis, Dimitrios; Law, Rob: Progress in information technology and tourism management: 20 years on and 10 years after the Internet: The state of eTourism research. Tourism Management, 29(4):609–623, 2008.

[Di70] Dinic, E. A.: Algorithm for solution of a problem of maximum flow in a network with power estimation. Soviet Math. Doll., 11(5):1277–1280, 1970.

[FF56] Ford, Lester R.; Fulkerson, Delbert R.: Maximal flow through a network. Canadian journal of Mathematics, 8(3):399–404, 1956.

[Fr10] Franke, Ulrik; Holschke, Oliver; Buschle, Markus; Rake-Revelant, Jannis; Närman, Per: IT Consolidation: An Optimization Approach. In: 14th IEEE International Enterprise Distributed Object Computing Conference Workshops. 2010.

[Gi12] Giakoumakis, Vassilis; Krob, Daniel; Liberti, Leo; Roda, Fabio: Technological architecture evolutions of information systems: Trade-off and optimization. Concurrent Engineering, 20(2):127–147, 2012.

[HR55] Harris, T. E.; Ross, F. S.: Fundamentals of a method for evaluating rail net capacities. DTIC Document, 1955.

[III11] ISO; IEC; IEEE: , Systems and software engineering – Architecture description, 01.12.2011.

[La04] Lankhorst, Marc M.: Enterprise Architecture Modelling - The Issue of Integration: Enterprise Modelling and System Support. Advanced Engineering Informatics, 18(4):205–216, 2004.

[La13] Lagerström, Robert; Baldwin, Carliss; MacCormack, Alan; Dreyfus, David: Visualizing and Measuring Enterprise Architecture: An Exploratory BioPharma Case. In (Grabis, Janis; Kirikova, Marite; Zdravkovic, Jelena; Stirna, Janis, eds): The Practice of Enterprise Modeling: 6th IFIP WG 8.1 Working Conference, PoEM 2013, Riga, Latvia, November 6-7, 2013, Proceedings, pp. 9–23. Springer, Berlin, Heidelberg, 2013.

[LW01] Landsbergen Jr., David; Wolken Jr., George: Realizing the Promise: Government Information Systems and the Fourth Generation of Information Technology. Public Administration Review, 61(2):206–220, 2001.

[OS00] Oliner, Stephen D.; Sichel, Daniel E.: The Resurgence of Growth in the Late 1990s: Is Information Technology the Story? FEDS Working Paper, (20), 2000.

[Pl07] Plazaola, Leonel; Flores, Johnny; Silva, Enrique; Vargas, Norman; Ekstedt, Mathias: An approach to associate strategic business-IT alignment assessment to enterprise architecture. In: Fifth Conference on Systems Engineering. 2007.

[PS04] Pereira, Carla Marques; Sousa, Pedro: A Method to Define an Enterprise Architecture Using the Zachman Framework. In: Proceedings of the 2004 ACM Symposium on Applied Computing. ACM, New York, NY, USA, pp. 1366–1371, 2004.

[Ro94] Rood, M. A.: Enterprise Architecture: Definition, Content, and Utility. In: Proceedings of the Third Workshop on Enabling Technologies. IEEE, New York, NY, USA, pp. 106–111, 1994.

[Sc16] Schoonjans, Anthony: Social Network Analysis techniques in Enterprise Architecture Management. PhD thesis, Ghent University, Ghent, 2016.

[SM96] Sanchez, Ron; Mahoney, Joseph T.: Modularity, flexibility, and knowledge management in product and organization design. Strategic Management Journal, 17(S2):63–76, 1996.

[ST03] Sundarraj, R.P; Talluri, Srinivas: A multi-period optimization model for the procurement of component-based enterprise information technologies. European Journal of Operational Research, 146(2):339–351, 2003.

[VSM10] Vodanovich, Shahper; Sundaram, David; Myers, Michael: Research Commentary—Digital Natives and Ubiquitous Information Systems. Information Systems Research, 21(4):711–723, 2010.

[WF06] Winter, Robert; Fischer, Ronny: Essential Layers, Artifacts, and Dependencies of Enterprise Architecture. In: 10th IEEE International Enterprise Distributed Object Computing Conference Workshops. IEEE, New York, NY, USA, pp. 30–38, 2006.

[Za87] Zachman, J. A.: A Framework for Information Systems Architecture. IBM Systems Journal, 26(3):276–292, 1987.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 637

Länder- und kulturspezifische Herausforderungen bei der Auswahl und Einführung von ERP-Systemen

Fartash Zafari[1] und Frank Teuteberg[2]

Abstract: Die Digitalisierung von Geschäftsprozessen eröffnet Unternehmen neue Perspektiven, ihre Prozesse durch Effektivitäts- und Effizienzsteigerungen mit möglichst minimalem Ressourceneinsatz nachhaltig zu verbessern und somit entsprechende Wettbewerbsvorteile realisieren zu können. Dementsprechend hat in den letzten Jahren die Einführung und Nutzung von an die Unternehmensstrategie angepassten ERP-Lösungen sowohl in der Forschung als auch in der Praxis stark an Bedeutung zugenommen. In diesem Zusammenhang spielt die richtige Auswahl und Einführung von ERP-Systemen eine entscheidende Rolle. Zu diesem Thema findet sich in der wissenschaftlichen Literatur bereits eine große Anzahl an Beiträgen. Es wurde bisher jedoch nicht ausreichend beleuchtet, wie Unternehmen bei der Auswahl und Einführung von ERP-Systemen unter länder- und kulturspezifischen Aspekten (z. B. in Ländern aus einem anderen Kulturkreis) methodisch vorgehen sollten und mit welchen Herausforderungen sie dabei konfrontiert sind, welche die Entscheidungstreffung verkomplizieren und daher im Zuge der zunehmenden Internationalisierung im Fokus stehen sollten. Deshalb wird im vorliegenden Beitrag, anhand eines Praxisbeispiels aus der Logistikbranche, ein Vorgehensmodell zur länder- und kultursensitiven Auswahl und Einführung eines ERP-Systems vorgestellt.

Keywords: ERP-Systeme, Vorgehensmodell, länder- und kulturspezifische Besonderheiten, Systemauswahl und -einführung, Digitalisierung

1 Einleitung und Motivation

Seit vielen Jahren beschäftigen sich Unternehmen intensiv mit der kontinuierlichen Verbesserung ihrer Prozessabläufe, um am globalisierten und schnell wachsenden Markt wirtschaflich bestehen zu können und die aus der Steigerung ihrer Leistungsfähigkeit resultierenden Wettbewerbsvorteile zu erzielen [BG14], [An17]. Dieses Problem betrifft vor allem den Dienstleistungssektor, da dieser heutzutage im Großteil der Industrieländer der bedeutendste und am schnellsten wachsende Wirtschaftszweig ist [FF13], [Gr16]. Des Weiteren erhöhen die immer stärker von Kunden geforderten Individuallösungen und kürzere Reaktionszeiten den Druck auf Unternehmen, was zu einem Anstieg der Entscheidungs- und Prozesskomplexität führt [SD15]. In diesem Zusammenhang sind Unternehmen gezwungen, geeignete Technologien, Methoden sowie richtige Informationssysteme für die ressourceneffiziente Abwicklung der Prozesse und

[1] Universität Osnabrück, Unternehmensrechnung und Wirtschaftsinformatik, Katharinenstr. 1, 49069 Osnabrück, fzafari@uni-osnabrueck.de
[2] Universität Osnabrück, Unternehmensrechnung und Wirtschaftsinformatik, Katharinenstr. 1, 49069 Osnabrück, frank.teuteberg@uni-osnabrueck.de

doi:10.18420/in2017_60

Unterstützung der Planungs- und Steuerungsaufgaben einzusetzen, um sich an die schnell ändernden Marktanforderungen anpassen zu können [BZ15], [Te07], [Le15]. Hierbei spielt die Digitalisierung von Prozessen durch Enterprise Resource Planning (ERP)-Systeme eine entscheidende Rolle, da diese Unternehmen unterstützen, ihre Prozesse durch die Standardisierung und Effizienzsteigerung im Vergleich zur Konkurrenz nachhaltig zu verbessern [MP16].

ERP-Systeme, welche sich aus verschiedenen Modulen zusammensetzen und als führende standardisierte oder nach Bedarf, individuelle Systeme einer Organisation mit vielen Schnittstellen zu anderen Programmen integriert sind, stellen heutzutage durch ihre zahlreichen Vorteile, vor allem die gezielte Verbesserung von Prozessen und Informationsflüssen sowie die Reduzierung der Prozessdurchlaufzeiten und -kosten, einen eintscheidenden Wettbewerbsfaktor dar [We09], [BZ15], [Le15], [LOU17], [GL07]. Gemäß ihrer zunehmenden Bedeutung haben sich die ERP-Systeme im Laufe der vergangenen Jahre als eigenständiger Forschungsbereich etabliert. Mittlerweile gibt es eine umfassende Wissensbasis und eine große Anzahl an Beiträgen in der Forschung und unternehmerischen Praxis, wie ERP-Systeme definiert sind, welche Rolle sie im Unternehmen spielen (vgl. z. B. [SSS12], [MD12]) und nach welchen Methoden, Modellen und Projektphasen die Auswahl und Einführung von Systemen erfolgen sollte (vgl. z. B. [SH05], [KZD14], [GAA12]). Außerdem gibt es in der Literatur Publikationen, die sich damit beschäftigen, welche Risiken im Verlauf von ERP-System-Einführungsprojekten auftreten und vermieden werden können (vgl. z. B. [TH13], [ADM12]) sowie welche Herausforderungen und Erfolgsfaktoren bei Auswahl und Einführung von ERP-Systemen zu berücksichtigen sind (vgl. z. B. [Ts12], [SY13]).

Trotz großer Bedeutung von ERP-Systemen wurde bisher noch kaum erforscht, wie kultur- und länderspezifische Unterschiede die Auswahl und Einführung eines geeigneten ERP-Systems beeinflussen, welche den Entscheidungsfindungsprozess länger und komplizierter machen und im Zuge der Internationalisierung im Fokus stehen sollten. Um dies aufzugreifen, wird deshalb im vorliegenden Beitrag ein Modell zur kultur- und ländersensitiven Auswahl und Einführung eines ERP-Systems vorgestellt, welches lokale Unterschiede bzw. Besonderheiten einbezieht. Hierfür wird auf ein Praxisbeispiel aus der Logistikbranche zurückgegriffen. In diesem Beispiel handelt es sich um ein deutsches Unternehmen, das ein geeignetes ERP-System für seine neu gegründete Niederlassung im Iran ausgewählt hat und in diesem Zusammenhang mit vielen Schwierigkeiten bzw. Unsicherheiten konfrontiert war. Nach der Analyse und gründlicher Abwägung aller Einflussfaktoren ist die Firma zu dem Schluss gekommen das System „SAP Business One“ auszuwählen. Dieses System wurde bereits von einem SAP Gold Partner aus Dubai in voller Übereinstimmung mit den länderspezifischen Anforderungen des Iran entwickelt und getestet.

Der Beitrag ist im Weiteren in sieben Abschnitte gegliedert. Der erste Abschnitt stellt eine Einleitung zum Thema dar. Abschnitt zwei stellt verwandte Arbeiten vor. Abschnitt drei gibt einen Überblick über die Methodik. In Abschnitt vier wird das industrielle Praxisbeispiel erläutert. In Abschnitt fünf wird auf Basis der Fallstudie und der

durchgeführten Experteninterviews der Hauptteil des Beitrags mit der Ausarbeitung der kultur- und länderspezifischen Unterschiede, die die ERP-Systemauswahl beeinflussen bzw. beschränken, gebildet. Im sechsten Abschnitt wird aus der Analyse und Auswertung der Fallstudie ein Modell zur länder- und kultursensitiven Auswahl eines ERP-Systems entwickelt und eine methodische Vorgehensweise vorgeschlagen. Abschließend werden in Abschnitt sieben die Ergebnisse zusammengefasst und zukünftiger Forschungsbedarf aufgezeigt.

2 Verwandte Arbeiten

Nach intensiver Literaturanalyse im Themenbereich länder- und kulturspezifischer Herausforderungen bezüglich der Auswahl und Einführung von ERP-Systemen konnten vier verwandte Beiträge gefunden werden, die die Bedeutung der länder- und kulturspezifischen Besonderheiten für erfolgreiche ERP-Projekte beleuchten. Diese sind zusammenfassend in Tabelle 1 dargestellt.

Autor(en) und Erscheinungsjahr	Themengebiet
Motwani et al. 2007 [Mo07]	Untersuchung der Bedeutung kultureller Besonderheiten für erfolgreiche ERP-Einführungen
Avison, Malaurent 2007 [AM07]	Identifizierung der kulturbedingten Schwierigkeiten, die zum Scheitern eines ERP-Einführungsprojekts in China führten
Shanks et al. 2000 [Sh00]	Einfluss von kultursensitiver Machtdistanz sowie Individualismus/Kollektivismus auf die Einführung von ERP-Systemen
Kummer, Leimeister, Bick 2012 [KLB12]	Analyse der Einwirkung und Bedeutung der nationalen Kultur auf die Phasen der Gestaltung von Informationssystemen

Tab. 1: Zusammenfassung der analysierten Publikationen

Im Unterschied zu den identifizierten verwandten Arbeiten fokussiert dieser Beitrag auf die Entwicklung eines Vorgehensmodells zur länder- und kultursensitiven Einführung und Auswahl von ERP-Systemen in der Logistikbranche (Dentalfachhandel), welches auf Basis der Erfahrungen einer ERP-Einführung im Iran basiert.

3 Methodik und Datengrundlage

Zur Beantwortung der Forschungsfrage, mit welchen Herausforderungen bzw. Schwierigkeiten Unternehmen bei der Auswahl und Einführung eines ERP-Systems

konfrontiert sind und welche länder- und kulturspezifischen Unterschiede die Auswahl und Einführung beschränken können, wurde eine Fallstudie im Rahmen der von Robert K. Yin definierten *Case Study Research Vorgehensweise* gewählt [Yi13]. Die Fallauswahl erfolgte mit dem Ziel, möglichst viele länder- und kulturspezifische Unterschiede und Besonderheiten im Vergleich zu Deutschland zwecks späterer Ausarbeitung und Auswertung zu untersuchen. In diesem Zusammenhang wurde die Auswahl eines ERP-Systems durch ein deutsches Unternehmen aus der Logistikbranche für seine neu gegründete Niederlassung im Iran als Beispiel genommen, da der Iran im Gegenteil zu Deutschland ein Entwicklungsland mit anderen Strukturen und Werten in Industrie, Wirtschaft, Kultur, Politik und Religion ist.

Zur Erhebung der benötigten Daten wurde neben der Betrachtung der Fallstudie die Forschungsmethode der qualitativen Experteninterviews gewählt, die eine thematische und flexible Sondierung der betrachteten Fragestellungen aus einem praktischen Aspekt ermöglicht [BML09], [Ka14]. Im Rahmen der Experteninterviews wurden vier Experten mit mehr als zehn Jahren Berufserfahrung mit Expertise im Bereich ERP-Lösungen und Auslandserfahrungen in der Logistik über die Themen bezüglich der Auswahl und Einführung eines ERP-Systems und die länderspezifischen Einflussfaktoren auf den Entscheidungsprozess befragt. Anschließend wurde auf Basis von Erkenntnissen der betrachteten Fallstudie und der Experteninterviews ein Modell zur kultur- und ländersensitiven Auswahl eines ERP-Systems entwickelt. Es soll hierbei Unternehmen ermöglicht werden, das Modell auf eigene Strategien und spezifische Anforderungen anzupassen, um die Auswahl eines ERP-Systems bestmöglich zu unterstützen. Abschließend erfolgte die Validierung des Modells in drei Workshops in Zusammenarbeit mit den Mitarbeitern aus dem in der Fallstudie ausgewählten Unternehmen und weiteren Experten.

4 Fallstudie

In der Fallstudie steht eines der in Deutschland ansässigen führenden und wachsenden Dentalfachhandels- und Logistikdienstleistungsunternehmen, welches mit einem Jahresumsatz von über 300 Millionen Euro und etwa 1.300 Mitarbeitern in 2016 an über 30 Standorten den deutschen und europäischen Dentalmarkt wie z. B. Zahnärzte, Dentallabore sowie Zahnkliniken mit insgesamt über 170.000 Material- und Technik-Artikeln mit einem Lieferservicegrad von ca. 95 % versorgt. Hierzu gehören u.a. die Beschaffung, die Lagerhaltung, die Auftragsbearbeitung und -abwicklung inklusive Kommissionierung, Verpackung und Versand sowie die Organisation des Transports bis zum Kunden. Zur Unternehmensphilosophie gehört vor allem das strategische und gezielte Wachstum durch den Eintritt in neue Märkte, um zum einen die wirtschaftliche Existenz des Unternehmens sichern zu können und zum anderen die entsprechenden Wettbewerbsvorteile zu erzielen. Dementsprechend hat das Unternehmen nach mehreren Gesprächen und grundlegenden Marktanalysen beschlossen, einen neuen Markt in Asien zu erschließen. In diesem Zusammenhang wurde das Land Iran als erster Zielmarkt in

Asien gewählt. Durch eine sinnvolle Kooperation mit einem einheimischen Unternehmen (Joint Venture) kann auf Marktkenntnisse und Erfahrung des Partners vor Ort zurückgegriffen sowie Synergien genutzt werden, was den Erfolg am Markt positiv beeinflussen kann.

Aktuell sind wenige Dentalfachhändler mit einem zudem stark begrenzten Spektrum an Dentalprodukten im Iran tätig. Das Unternehmen in der vorliegenden Fallstudie zeichnet sich durch die Marktführerschaft im Bereich der Teileverfügbarkeit aus, was als großes Potenzial gesehen wird, den Kunden als erstes Unternehmen im Iran das Komplettsortiment an Dentalprodukten anbieten zu können.

Nach Informationen des Ministeriums für Gesundheit und Medizin vom Iran und des iranischen Medizinkonzils sind derzeit über 25.000 Zahnärzte und 5.000 Zahntechniker in ca. 3.200 Zahnkliniken und technischen Dentallaboren im Iran beschäftigt. Jährlich werden ca. 1.500 Zahnärzte ihr Studium an über 60 zahnfachlichen Universitäten mit Erfolg absolvieren und es werden im Durchschnitt 260 neue Zahnarztpraxen pro Jahr aufgebaut, was die großen und attraktiven Marktpotenziale im Iran aufzeigt. Des Weiteren bietet der Abbau bzw. die Lockerung der Iran-Sanktionen seit dem 16. Januar 2016 den Unternehmen neue Chancen für die Zukunft. Außerdem ist der Iran in geographischer Hinsicht einzigartig (im Zentrum des Nahen Ostens). Deshalb könnte nach einer erfolgreichen Marktetablierung im Iran als nächster Schritt der Markteintritt in Nachbarländer des Irans erfolgen.

Nach Erhebungen der AHK (Deutsch-Iranischen Industrie- und Handelskammer) sind fast zwei Drittel von rund 120 befragten Unternehmern der Meinung, dass das zukünftige Geschäft mit dem Iran deutlich wächst [Ah16].

Es bestehen allerdings die bekannten Risiken wie Krieg, Revolution sowie, dass der Iran seine Verpflichtungen zum Abbau seiner nuklearen Kapazitäten nicht erfüllt, was zu strengeren Sanktionen und neuen Beschränkungen gegen den Iran führt. Es ist zudem zu beachten, dass es im Dentalmarkt im Iran einige Einschränkungen gibt, vor allem die Exklusivität auf dem Markt. Dabei dürfen Produkte eines Lieferanten nur durch einen Händler vertrieben werden. Andererseits ist die Ausfuhr der Dual-Use-Güter sowie der Waren, die ursprünglich aus bestimmten Ländern wie Amerika oder Israel herkommen, in den Iran verboten. Hierzu müssen bei der Ausfuhr der Güter viele relevante Dokumente und Unterlagen wie bspw. das Ursprungszeugnis oder die Endverbleibserklärung sorgfältig ausgefüllt und an die zuständige Stelle geschickt werden. Zudem muss jedes einzelne Produkt für den Export nach dem Iran bereits übersetzt und beim Ministerium für Gesundheit und Medizin staatlich registriert werden, was viel Zeit und Aufwand in Anspruch nimmt.

5 Besondere Länder- und kulturspezifische Anforderungen zur ERP-Systemauswahl im Iran

Zunächst werden in diesem Abschnitt Beispiele aus der Fallstudie vorgestellt. Anschließend werden auf Basis der Beispiele und der durchgeführten Experteninterviews die besonderen Anforderungen, die zur länder- und kultursensitiven Auswahl und Einführung eines ERP-Systems berücksichtigt werden sollten, erarbeitet.

Herausforderungen bei der Lizenzierung: Der Iran steht immer noch in einigen Embargo- und Sanktionslisten. Von daher können die Lizenz- und Nutzungsrechte nicht so einfach und reibungslos durch ein Unternehmen im Iran gekauft werden. Dieses Thema gewinnt heutzutage immer mehr an Bedeutung, da ein Verstoß gegen die bestehenden Embargos und Sanktionen bei Unternehmen zu erheblichen Schäden führen kann (z. B. [AE17]). Im vorliegenden Fall hat das deutsche Unternehmen die Mehrheitsbeteiligung für die neu gegründete Firma im Iran. Deshalb kann eine Lizenz in diesem Fall über diese deutsche Firma vergeben werden. Allerdings besteht noch die Gefahr, dass der Iran seine Verpflichtungen zum Abbau seiner nuklearen Kapazitäten nicht erfüllt, was wiederum neue Sanktionen verursachen würde.

Internetanbindung und -geschwindigkeit (Bandbreite): Häufig stellt sich die Frage, wie neue Unternehmen an die Muttergesellschaft angebunden werden. Es sollten genügend Überlegungen getroffen werden, wie die Kommunikation und der Datenaustausch zwischen den Tochtergesellschaften und der Muttergesellschaft sichergestellt werden kann [We09]. Auf der Grundlage von Experteninterviews wurde festgestellt, dass es im Iran ständig Internetprobleme bzw. Probleme mit der Internetanbindung, -stabilität und -geschwindigkeit (begrenzte Bandbreite) gibt, welche oft keine technischen Gründe haben. Laut aktueller Ausgabe des *Akamai State of the Internet Reports* beträgt die durchschnittliche Verbindungs- bzw. Internetgeschwindigkeit im Iran im vierten Quartal 2016 4,1 Mbit/s, wohingegen die durchschnittliche Internetgeschwindigkeit weltweit bei 7,0 Mbit/s und in Deutschland bei 14,6 Mbit/s liegt [St16]. Des Weiteren leidet die Internetnutzung im Iran unter der massiven staatlichen Internetzensur und -kontrolle. Laut GTAI (Germany Trade & Invest) verwenden über zwei Drittel der Internetnutzer im Iran spezielle Software zur Umgehung dieser staatlichen Zensuren, was zur erheblichen Reduzierung der Übertragungsgeschwindigkeit führt [Gt16]. Das Problem besteht darin, dass die Regierung den Internetzugang aus Angst vor Demonstrationen und Protesten einschränkt bzw. die Internet-Bandbreite gezielt verringert und teilweise komplett abschaltet, weswegen eine einfache Cloud-Lösung von der Auswahl ausgeschlossen werden muss. Aus diesen Gründen hat das Unternehmen beschlossen, dass die neue Firma im Iran ein ERP-System mit einem eigenen lokalen Server in Betrieb nehmen soll.

Soziokulturelle Unterschiede: Die Anzahl der Anbieter der ERP-Lösungen und -Systeme ist unüberschaubar. Es sollte ein System ausgewählt werden, das neben der Funktionalität, die aus den soziokulturellen Unterschieden resultierenden Anforderungen des Irans am besten erfüllt. Hierzu würden am besten die lokalen ERP-Systeme passen.

Mittlerweile gibt es einige iranische ERP-Systeme am Markt, die aber in Hinsicht auf die Funktionalität und Flexibilität sehr beschränkt sind und sogar einfachste Logistikprozesse wie z. B. die Kommissionierung mit einem MDE-Gerät nicht abbilden können. Deshalb wurden die lokalen Systeme im vorliegenden Fall nicht mehr berücksichtigt. Im nächsten Schritt wurde nach den geeigneten internationalen Systemen gesucht. In diesem Zusammenhang haben die länderspezifischen Einflussfaktoren wie Sprache, Kalender und Feiertage, Währung usw. die Auswahl wiederum begrenzt. Das System sollte auf persisch (auch unter dem Namen Farsi bekannt) zur Verfügung stehen und zudem nach dem amtlichen iranischen Kalender (sog. Sonnenkalender) verwendet werden. Jahresbeginn ist hierbei der Frühlingsanfang (am 21. März). Die Systemsprache ist ein entscheidender Faktor, da sie zum besseren Verständnis der Funktionen und Abläufe im ERP-System und daher zur Steigerung der Mitarbeiterakzeptanz führt. Außerdem sollte der iranische Rial im System anerkannt sein. Die Kaufentscheidung einer Standardsoftware und Durchführung der benötigten Anpassungen auf die Anforderungen des Landes kann hier keine optimale Lösung sein, da hier erhebliche Anpassungen vorgenommen werden müssen, die viel Zeit und Kosten in Anspruch nehmen. Z. B. kostet die Importierung der Sprache Persisch in das System viel Zeit, da sie aus ganz anderen Buchstaben im Vergleich zu Deutsch oder Englisch besteht und zudem von rechts nach links geschrieben wird (Problem mit der Positionierung und Lokalisierung). Wie oben erwähnt, führen die Kalenderunterschiede zwischen Deutschland und dem Iran zu weiteren Auswahlbeschränkungen. Laut persischen Kalender ist im Iran derzeit das Jahr 1396. Einige Software-Systeme könnten nicht mehr zur engeren Auswahl gezogen werden, da sie auf eine SQL-Datenbank aufgebaut sind und der Minimalwert für Datum bspw. das Jahr 1753 ist. Hier ist wiederum eine Anpassung nötig, was zeit- und kostenaufwendig ist. Im letzten Schritt wurden dementsprechend die internationalen ERP-Anbieter in die engere Wahl genommen, die ihre Produkte bereits mit Erfolg auf persisch im Iran eingesetzt haben.

Herausforderungen bei der Implementierung, dem Support und Schulungen: Neben den sozio-kulturellen Unterschieden, die die Auswahl begrenzen, spielen andere Faktoren wie die Reise in den Iran zur ERP-Implementierung und zu Anwenderschulungen zur ERP-Einführung sowie die Supportzeiten eine entscheidende Rolle. Einige ERP-Anbieter hatten kein Interesse an dem Projekt aus Angst vor dem USA-Einreiseverbot. Wer in den vergangenen fünf Jahren im Iran gewesen ist und künftig in die USA reisen will, muss aus Sicherheitsgründen ein Visum beantragen [Ze16]. Zudem hat der neue US-Präsident Trump im März 2017 neue Einreisebestimmungen und strengere Regeln unterzeichnet. Deshalb wollen diese Anbieter und deren Mitarbeiter nicht mehr für die Implementation und Durchführung der Schulungen in den Iran fliegen.

Es gibt einen Zeitunterschied bzw. eine Zeitverschiebung zwischen Deutschland und dem Iran und im Iran gelten andere Arbeits- und Feiertage.Im Iran beginnt die Woche samstags und die Arbeitstage sind von Samstag bis Donnerstag. Daher sollte immer jemand zur deutschen Wochenendzeit oder jährlich während der sich unterscheidenden Feiertage zur Unterstützung im Falle auftretender Probleme zur Verfügung stehen, was zur Verminderung der Auswahlmöglichkeiten führt.

Darüber hinaus sind bei der Einführung des ERP-Systems im Iran Faktoren in Bezug auf die Religion zu beachten. Da der Iran stark islamistisch geprägt ist, müssen Frauen in der Öffentlichkeit beispielsweise ein Kopftuch und lange, weite Kleidung tragen, was die Einreise als Frau in den Iran schwierig machen kann. Zudem wird dort teilweise Geschlechtertrennung praktiziert. Deshalb kann der potenzielle ERP-Anbieter für die Implementierung des Systems sowie für Anwenderschulungen vor Ort oft nur mit seinen männlichen Fachkräften rechnen. Ein anderes Beispiel ist der Ramadan (Fastenmonat). Während dieses Monats muss von Sonnenaufgang bis -untergang auf Essen, Trinken oder Rauchen verzichtet werden. Außerdem sind während dieser Zeit viele Restaurants tagsüber geschlossen, was zu Schwierigkeiten für Reisende führen kann.

Des Weiteren sind bei der Implementierung und dem Betrieb von ERP-Systemen weitere Faktoren, wie die Temperatur im Serverraum, zu berücksichtigen, obwohl die Temperaturanforderungen unabhängig vom zu wählenden ERP-System sind. Im Iran ist es deutlich wärmer als in Deutschland, v. a. im Sommer ist es sehr heiß, weswegen eine Klimatisierung des Serverraums (Kühlung) nötig sein kann.

Allgemeine Prozessunterschiede zwischen Deutschland und dem Iran: Die Prozesse von Unternehmen zu Unternehmen sowie Land zu Land differieren teilweise erheblich, was die abgebildeten Prozesse im ERP-System sehr unterschiedlich macht. Es gibt große Unterschiede zwischen Deutschland und dem Iran in Hinsicht auf Prozesse und die daraus resultierenden Anforderungen an das ERP-System. Während in Deutschland viel in die Automatisierung investiert und moderne Technologien sowie optimale, flexible Prozesse erforscht werden, werden im Iran aufgrund der wesentlich geringeren Personalkosten immer noch „einfachere“ bzw. wenig digitalisierte Prozesse angewendet. Z. B. erfolgt die Kommissionierung im Iran häufig manuell. Zudem wird ein Großteil der Lieferungen von Waren mit dem Motorrad ausgeliefert. Dies liegt daran, dass einerseits der Stadtverkehr oft sehr dicht und andererseits der Benzinpreis sehr günstig sind. Auch ist der Scheck im Iran immer noch ein gängiges Zahlungsmittel. Diese länderspezifischen Unterschiede und besonderen Prozessmerkmale, welche oft zusätzliche Anpassungen bzw. Konfigurationen (Customizing) erfordern, sind ebenfalls zu beachten.

Die Beispiele aus der Fallstudie haben gezeigt, dass länder- und kulturspezifische Faktoren die Auswahl und Einführung von ERP-Systemen stark beeinflussen. Nach der Anforderungsanalyse auf Basis der Fallstudie und der Experteninterviews wurden kritische Kriterien für die länder- und kultursensitive Auswahl und Einführung eines ERP-Systems identifiziert. Abbildung 1 illustriert diese Faktoren.

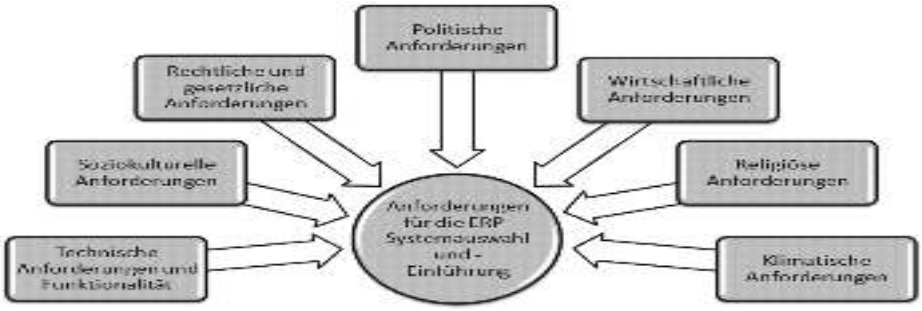


Abb. 1: Kriterien für die länder- und kultursensitive Auswahl und Einführung eines ERP-Systems

Technische Anforderungen und Funktionalität: Das „richtige" ERP-System für das Unternehmen in Hinsicht auf Funktionalität und technische Aspekte ist jenes, welches die Unternehmensprozesse bestmöglich abbildet, Unternehmensziele und -bedürfnisse am besten erfüllt sowie eine uneingeschränkte Kompatibilität mit anderen Anwendungen und Unternehmenssystemen sicherstellt. Hierbei unterscheiden sich die spezifischen Ziele und Bedürfnisse je nach Branche, Investitionsplanungen, IT-Infrastruktur und Größe des Unternehmens. In der Fallstudie sind beispielsweise Funktionen wie Datenverwaltung, Dokumentationsmanagement und Berichtswesen des Systems für das Unternehmen besonders wichtig, da die Produkte im Dentalmarkt oft mit einer Chargennummer gekennzeichnet sowie teilweise Gefahrstoffe sind, was besondere Aufmerksamkeit bei der Lagerung (z. B. Chargenverfolgbarkeit oder Anordnung der Güter) und Lieferung der Produkte verlangt. Des Weiteren spielen hier Faktoren wie Systemskalierbarkeit und Benutzerfreundlichkeit eine wichtige Rolle zur Systemauswahl. Oft werden diese funktionalen Anforderungen und Wünsche der Unternehmen in einem Lastenheft detailliert beschrieben, welches das Fundament für die Einholung und Bewertung von Angeboten ist [BZ15], [SH05].

Rechtliche und gesetzliche Anforderungen: Sowohl technische als auch kaufmännische Prozesse (wie z. B. Abbildung steuerrechtlicher Sachverhalte) sollten im ERP-System abgebildet werden. Dabei sind beispielsweise die länderspezifischen Steuergesetze und Buchhaltungsregeln, die Banksysteme und offizielle Zahlungsmittel sowie personen- und länderbezogene Embargos zu beachten. Zudem müssen die Rechnungen, Belege und gesetzlich erforderlichen Berichte wie Umsatzsteuerberichte den im Zielland geltenden Gesetzen entsprechen. Deshalb ist eine Bewertung der ERP-Systeme aus rechtlicher und gesetzlicher Sicht erforderlich.

Politische Anforderungen: Wie in der Fallstudie erwähnt, können politische Rahmenbedingungen, Restriktionen und Änderungen die ERP-Systemauswahl beeinflussen und teilweise begrenzen wie beispielsweise durch Probleme mit der Lizenzierung oder einem Einreiseverbot. Deshalb sollte vor der Entscheidung herausgefunden werden, welche politisch bedingten Handelsrestriktionen und Risiken im Zielland vorgeschrieben sind.

Wirtschaftliche Anforderungen: Wie bei jedem Projekt beeinflussen die Faktoren Kosten und Implementierungszeit die Auswahlentscheidung. Die Auswahl eines ERP-Systems ist ein komplexes, kostenaufwändiges und zeitintensives Projekt, welches durch eine große Anzahl an Risiken und Unsicherheiten geprägt ist. Die Auswahlproblematik ist besonders für Unternehmen, deren verfügbare finanzielle Mittel stark begrenzt sind, von großer Bedeutung [BZ15]. Dies erfordert ein strukturiertes und konsequentes Projektmanagement sowie eine sorgfältige Investitions- und Terminplanung im Voraus.

Religiöse Anforderungen: Die Beispiele aus der Fallstudie verdeutlichen, dass bei der Einführung von ERP-Systemen auch religiöse Unterschiede in Betracht gezogen werden sollten. Die Zugehörigkeit zu unterschiedlichen Religionen kann Auslöser für Konflikte, Missverständnisse, religiös motivierte Einstellungen oder unterschiedliche Wertvorstellungen sein.

Klimatische Anforderungen: Übersteigen im Zielland die Temperaturen häufig die 35-Grad-Marke kommen selbst moderne Server an ihre Leistungsgrenze (im Iran beträgt die Durchschnittstemperatur im Juli ca. 30 Grad; Temperaturschwankungen bis zu 40 °C im Tages- und Jahresverlauf sind keine Seltenheit). Insofern sind auch klimatische Gegebenheiten wie Luftfeuchtigkeit, Luftdruck oder Temperatur zu berücksichtigen und für entsprechende Kühltechnologien und Klimatisierung beim Betrieb von ERP-Systemen zu sorgen sowie bei den laufenden Kosten des ERP-Systembetriebs zu berücksichtigen (z. B. erhöhter Strombedarf für Kühlung).

6 Vorgehensmodell

Auf Grundlage der Fallstudie und Erkenntnisse der Experteninterviews wird im Folgenden ein fünfstufiges Modell zur Auswahl eines ERP-Systems mit Berücksichtigung der länderspezifischen Anforderungen entwickelt und eine methodische Vorgehensweise zur Systemauswahl vorgeschlagen.

Die Auswahl eines ERP-Systems besitzt den Charakter einer langfristigen und strategischen Entscheidung, welche den Unternehmenserfolg nachhaltig beeinflussen kann. Die Auswahl sollte besonders sorgfältig erfolgen, da das Risiko des Projektscheiterns durch die Fehler bei der Systemauswahl besonders hoch ist und erheblich negative Folgen mit sich bringen kann [Le15]. Deshalb sollten zunächst die genauen und klaren ERP-Projektziele und -aufgaben, die aus der Unternehmensstrategie abgeleitet werden müssen [BZ15], definiert werden. Laut einer Studie gehen zwei Drittel der befragten Unternehmensentscheider davon aus, dass die fehlende Zieldefinition Hauptursache für den Misserfolg von Projekten ist [Le12].

Das entwickelte Modell beginnt mit der Erstellung des Lastenheftes, in dem auf Basis der Unternehmensstrategie und -ziele genaue Anforderungen und Wünsche an das ERP-System vollständig ermittelt und detailliert beschrieben werden (Phase 1). Die zweite Phase umfasst eine umfangreiche Marktrecherche zur Untersuchung und Identifizierung

potenzieller ERP-Systeme bzw. Softwareanbieter, welche gegenwärtig auf dem Markt zur Verfügung stehen und für das Unternehmen in Frage kommen können [We09]. Hierbei sollten sowohl lokale als auch internationale Systeme und Anbieter identifiziert und berücksichtigt werden. Im Hinblick auf die unüberschaubare Vielfalt an ERP-Systemen bzw. -Anbietern sollte neben der Marktrecherche ggf. auf bereits vorhandene Studien oder Experten zurückgegriffen werden, um Zeit und Kosten zu sparen. Die dritte Phase beschäftigt sich mit einer Vorauswahl bzw. Grobbewertung von Systemen und Anbietern laut ihrer Angebote auf Basis des Lastenheftes und ggf. durch Erstgespräche mit den Anbietern. Hier wird grundsätzlich grob über die technischen und wirtschaftlichen Faktoren sowie die Erfahrung und Vorgehensweise der Anbieter bei der ERP-Implementierung diskutiert.

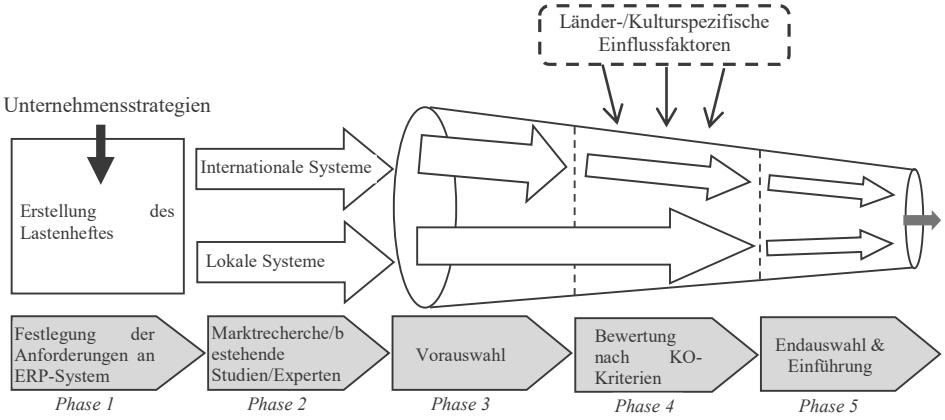


Abb. 2: Modell zur kultur- und ländersensitiven Auswahl und Einführung eines ERP-Systems

In Abschnitt 4 wurde beleuchtet, wie stark die länder- und kulturspezifischen Unterschiede die Auswahl eines ERP-Systems beeinflussen und teilweise begrenzen können. Nach der Vorauswahl werden nun in der Phase 4, die Systeme anhand der KO-Kriterien, die unbedingt erfüllt sein müssen [Ri12], unter Berücksichtigung auf länderspezifische Besonderheiten und Anforderungen (soziokulturelle, politische, rechtliche und gesetzliche Anforderungen) bewertet. Diese Bewertung erfolgt nur für internationale Systeme mit dem Ziel, Systeme, die zwingende länderspezifische Bedingungen nicht erfüllen können, auszusortieren. Diese Phase ist sehr entscheidend, um vor der ERP-Implementierung die Systeme bezüglich der länderspezifischen Besonderheiten miteinander zu vergleichen und die zukünftigen Risiken und Unsicherheiten zu minimieren. Abschließend werden in der letzten Phase die finalen Systeme bzw. Anbieter detailliert betrachtet und aus wirtschaftlichen, softwaretechnischen sowie länderspezifischen Kriterien bewertet. Um eine richtige Bewertung durchzuführen und möglichst alle Funktionalitäten der Systeme überprüfen zu können, werden in dieser Phase oft mehrere Workshops stattfinden, Online-Produktdemonstrationen durch Anbieter präsentiert und Referenzbesuche angeboten sowie Testversionen der Software ausprobiert. Für die finale Bewertung werden am häufigsten Methoden des Multi-Criteria Decision Making (MCDM) wie die Nutzwertanalyse mit Hilfe einer Entscheidungsmatrix verwendet [SH05], in der

verschiedene Alternativen im Hinblick auf mehrere zu gewichtende Kriterien bewertet werden. Am Ende dieser Phase wird ein Anbieter ausgewählt, der den höchsten Gesamtnutzwert erreicht hat und dessen ERP-System daher implementiert werden soll. Wie in Abbildung 2 dargestellt ist, kann der Auswahlprozess wie ein Trichter (zuerst breit und am Ende schmal, da nur ein Anbieter bzw. ein System übrig bleibt) dargestellt werden, welcher den stark selektiven Prozess widerspiegelt und einen klaren Blick auf die in jedem Schritt aktuell bestehenden Systeme bis zur Endauswahl bietet.

Im Rahmen der Validierung wurden nach der Entwicklung des Modells drei Workshops organisiert. Hierbei wurde das Modell durch vier ausgewählte Experten und drei Mitarbeiter des Unternehmens, die in den Kontext der in diesem Beitrag beschriebenen Fallstudie involviert waren, gemeinsam validiert. Hierzu wurde das Modell anhand der Kriterien Korrektheit, Vollständigkeit, Anwendbarkeit, Verlässlichkeit und Nachvollziehbarkeit bewertet. Den Kriterien der Korrektheit, Vollständigkeit und Anwendbarkeit des Modells wurde durch die Experten voll zugestimmt. Die Verlässlichkeit wurde dagegen nur eingeschränkt bestätigt, da die Einordnung der Anforderungen und Kriterien in verschiedenen Ländern und Branchen sowie im spezifischen Unternehmenskontext stark variieren kann. Der Nachvollziehbarkeit des Modells wurde ebenfalls eingeschränkt zugestimmt, da diese ein grundlegendes Verständnis für die ERP-Systeme und deren Funktionalitäten voraussetzt.

7 Zusammenfassung

Die Auswahl der ERP-Systeme, die derzeit in Unternehmen eine weite Verbreitung haben, erfordert eine systematische Vorgehensweise. Insbesondere, wenn ein Unternehmen international ausgerichtet ist und immer mit einer Vielzahl von Unsicherheiten über länder- bzw. kulturspezifischen Anforderungen konfrontiert ist.

Bisher gibt es nur wenig wissenschaftliche Literatur und Untersuchungen bezüglich des Einflusses der länder- und kulturspezifischen Unterschiede auf die Auswahl und Einführung eines ERP-Systems. Daher wurden in diesem Beitrag anhand einer Fallstudie und der Durchführung von Experteninterviews wichtige Erkenntnisse zu länder- und kulturspezifischen Anforderungen und Besonderheiten, die die Auswahlentscheidung beeinflussen und teilweise begrenzen können, gewonnen. Nur bei ausreichender Beachtung dieser Faktoren ist gewährleistet, dass die richtige ERP-Systemauswahl durchgeführt werden kann. Darauf aufbauend wurde ein Modell zur Auswahl eines ERP-Systems mit Berücksichtigung der technischen, wirtschaftlichen sowie weiterer länderspezifischen Anforderungen entwickelt, welches zur Verringerung des Entscheidungs- und Investitionsrisikos bei der Systemauswahl beitragen kann. Es sollte jedoch im Rahmen weiterer Studien untersucht werden, inwiefern dieses Modell den Unternehmen eine passende Hilfestellung geben kann. Des Weiteren wurden die in diesem Beitrag gewonnenen Erkenntnisse durch eine begrenzte Anzahl von Befragten sowie im Hinblick auf nur eine Fallstudie aus der Logistikbranche erzielt. Deshalb sollte die

Problematik der Auswahl und Einführung eines ERP-Systems auf andere Branchen und Länder erweitert werden. Trotz der oben genannten Einschränkungen kann das entwickelte Modell in einem ersten Einblick zeigen, dass eine Identifizierung und Berücksichtigung länder- und kulturspezifischer Rahmenbedingungen und Besonderheiten bei der Auswahl sowie Einführung eines ERP-Systems einen Beitrag zur Minimierung der Risiken und Sicherstellung der Investitionen leisten kann.

Die Bedeutung, Komplexität und Dauer der ERP-Auswahl von der Erstellung des ERP-Lastenheftes über die Marktrecherche und Identifizierung der möglichen Anbieter bzw. Systeme bis zur Endauswahl dürfen nicht unterschätzt werden. Es ist daher wichtig, sich für die Projekt- und Investitionsplanung sowie den Auswahlprozess genügend Zeit zu nehmen und ein qualifiziertes Projektteam (z. B. aus Muttersprachlern des Ziellandes) aus den relevanten Fachabteilungen dafür zusammenzusetzen, um den Projekterfolg sicherstellen zu können.

Literaturverzeichnis

[ADM12] Aloini, D.; Dulmin, R.; Mininno; V.: Risk assessment in ERP projects. Information Systems 03/12, S. 183-199, 2012.

[Ae17] AEB Gesellschaft, https://scnem.com/a.php?sid=akifz.252m2be,f=5,n=akifz.252m2be, p=1,artref=6522505,l=gl07tw.26kc9mi, Stand: 07.04.2017.

[Ah16] AHK, Deutsch-Iranische Industrie- und Handelskammer, https://iran.ahk.de/fileadmin/ahk_iran/publication/Newsletter/Iran_Contact_1.pdf, Stand: 19.04.2017.

[AM07] Avison, D.; Malaurent, J.: Impact of cultural differences, a case study of ERP introduction in China. International Journal of Technology and Information Management 05/07, S. 368-374, 2007.

[An17] Angelova, E.: Anwendbarkeit von Process Mining Methoden zur kontinuierlichen Verbesserung von IT Service Management Prozessen nach ITIL. 30. AKWI-Jahrestagung, S. 32-40, Hochschule Aschaffenburg, 2017.

[BG14] Bösing, K.D.; Geldmacher, J.: Transformation einer EPK in eine formalisierte Methode. Wissenschaftliche Beiträge der TH Wildau 18. Jahrgang, S. 95-101, 2014.

[BML09] Bogner, A.; Menz, W.; Litting, B.: Das Experteninterview, Theorie, Methode, Anwendung, 3. Auflage, VS Verlag für Sozialwissenschaften, Wiesbaden, 2009.

[BZ15] Braun, B.; Zeljko, T.: Auswahl und Einführung von ERP-Systemen im Mittelstand. 28. AKWI-Jahrestagung, S. 192-201, Hochschule Luzern, 2015.

[FF13] Fitzsimmons, J.A.; Fitzsimmons, M.J.: Service Management, Operations, Strategy, Information Technology, 8. Auflage, Mcgraw-Hill Education Ltd, New York, 2013.

[GAA12] Gürbüz, T.; Alptekin, S.E.; Alptekin; G.I.: A hybrid MCDM methodology for ERP selection problem with interacting criteria. Decision Support Systems 01/12, S. 206-214, 2012.

[GL07] Grabski, S.V.; Leech, S.A.: Complementary controls and ERP implementation success. International Journal of Accounting Information Systems 01/07, S. 17-39, 2007.

[Gr16] Grömling, M.: Säkulare Stagnation: Erwartungen und Begründungen deutscher Unternehmen, https://www.iwkoeln.de/studien/iw-trends/beitrag/michael-groemling-saekulare-stagnation-261500, Stand: 13.06.2017.

[Gt16] GTAI, Germany Trade & Invest, https://www.gtai.de/GTAI/Content/DE/Trade/Fachdaten/PUB/2016/05/pub201605028000_20811_wirtschaftspartner-iran-ist-zurueck.pdf?v=3, Stand: 10.05.2017.

[Ka14] Kaiser, R.: Qualitative Experteninterviews, konzeptionelle Grundlagen und praktische Durchführung, Springer VS, Wiesbaden, 2014.

[KLB12] Kummer, T.-F.; Leimeister, J.M.; Bick; M.: Die Bedeutung von nationaler Kultur für die Gestaltung von Informationssystemen. International Journal of Wirtschaftsinformatik 54/12, S. 303-318, 2012.

[KZD14] Kilic, H.S.; Zaim, S.; Delen, D.: Development of a hybrid methodology for ERP system selection: The case of Turkish Airlines. Decision Support Systems 06/14, S. 82-92, 2014.

[Le12] Leiting, A.: Unternehmensziel ERP-Einführung – IT muss Nutzen stiften, Springer Gabler, Wiesbaden, 2012.

[Le15] Leyh, C.: Implementierung von ERP-Systemen in KMU – Ein Vorgehensmodell auf Basis von kritischen Erfolgsfaktoren. HMD 52/15, S. 418-432, 2015.

[LOU17] Lasisi, M.O.; Owens, J.; Udagedara, S.: Key Benefits of Enterprise Resource Planning Adoption within small Family Businesses: A Conceptual Framework. United Kingdom Academy for Information Systems conference, Oxford University, 2017.

[MD12] Madapusi, A.; D'Souza, D.: The influence of ERP system implementation on the operational performance of an organization. International Journal of Information Management 32/12, S. 24-34, 2012.

[Mo07] Motwani, J. et al.: Erfolgreiche ERP-Einführungen – eine kulturvergleichende Betrachtung. HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik 44/07, S. 105-112, 2007.

[MP16] Mengay, A.; Pricelius, M.: Digitalisierung der Arbeit, Industrie 4.0 und der schwierige Weg zu einer Mitbestimmung 4.0, Rosa Luxemburg Stiftung, Berlin, 2016.

[Ri12] Riethmüller, C.: ERP-Projekte – zwischen Risiko und Erfolg: Ein Leitfaden zu System-Auswahl und -Inbetriebnahme, 1. Auflage, Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2012.

[SD15] Schmidt, J.; Drews, P.: Entwicklung und Evaluation eines Metamodells zur Verbesserung der unternehmensweiten Entscheidungsorientierung mithilfe der Unternehmensarchitektur. 12th International Conf. on Wirtschaftsinformatik, S. 1814-1828, Osnabrück, 2015.

[Sh00] Shanks, G. et al.: Differences in critical success factors in ERP systems implementation in Australia and China: a cultural analysis. In 8th Proc. European Conf. on Information Systems, Wien, S. 1-8, 2000.

[SH05] Stahlknecht, P.; Hasenkamp, U.: Einführung in die Wirtschaftsinformatik, 11. Auflage, Springer, Berlin, 2005.

[SSS12] Staehr, L.; Shanks, G.; Seddon, P.B.: An Explanatory Framework for Achieving Business Benefits from ERP Systems. Journal of the Association for Information Systems 13/12, S. 424-465, 2012.

[St16] State of the Internet Report – akamai's report Q4 2016, https://www.akamai.com/us/en/multimedia/documents/state-of-the-internet/q4-2016-state-of-the-internet-connectivity-report.pdf, Stand: 10.05.2017.

[SY13] Schneiderjans, D.; Yadav, S.: Successful ERP implementation: an integrative model. Business Process Management Journal 19/13, S. 364-398, 2013.

[Te07] Teece, D.J.: Explicating Dynamic Capabilities: The Nature and Microfoundations of Enterprise Performance. Strategic Management Journal 28/07, S. 1319-1350, 2007.

[TH13] Teuteberg, F.; Hamerski, I.: Status Quo der Risikokommunikation im Kontext von ERP-System-Einführungsprojekten. In Proc. zur INFORMATIK 2013, Koblenz, S. 2030-2045, 2013.

[Ts12] Tsai, W.-H. et al.: A comprehensive study of the relationship between enterprise resource planning selection criteria and enterprise resource planning system success. Information & Management 49/12, S. 36-46, 2012.

[We09] Weidmüller, A.: Herausforderungen mittelständischer Unternehmen bei der IT-Internationalisierung – Erfahrungsbericht der emz-Hanauer GmbH & Co. KgaA am Beispiel der ERP-Internationalisierung, GWV Fachverlage, Wiesbaden, 2009.

[Yi13] Yin, R.K.: Case Study Research: Design and Methods, 5. Auflage, Sage Publications, London, 2013.

[Ze16] Zeit Online, http://www.zeit.de/politik/ausland/2016-01/terrorismus-usa-einreisebestimmungen-visum, Stand: 27.04.2017.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 653

Deklarative Unternehmensmodelle - essentielle Bausteine Digitaler Unternehmen für optimierende Reorganisationen

Ulrich John [1]

Abstract: Zur erfolgreichen Bewältigung der Digitalen Transformation werden Unternehmen ab einer bestimmten Größe ganzheitliche Modelle von sich selbst und von anderen Unternehmen benötigen. Derzeit verfügen, unseren Erfahrungen nach, die meisten (traditionellen) Unternehmen über keine ausreichenden Modelle, dabei kann die Unterstützung von strukturellen und funktionalen Reorganisationen durch Erweiterung von Ansätzen erfolgen, die sich für die Konfiguration und Rekonfiguration beziehungsweise das (Re)Design von komplexen Produkten bewährt haben. Diesbezüglich werden einige initiale Aspekte vorgestellt und diskutiert, die als Input für weitere Arbeiten verwendet werden können.

Keywords: Digitales Unternehmen, Deklarative Unternehmensmodelle, constraint- und regelbasierte Unternehmens-Reorganisation, Konfiguration/ Rekonfiguration von Unternehmensstrukturen und Funktionszuordnungen, Digitale Transformation von Unternehmen

1 Einleitung

Die derzeit viel thematisierte *Digitalisierung* und *Digitale Transformation* ist nach Meinung einiger Experten nichts grundlegend Neues. Die Entwicklung von IT-Systemen/ Software zur Unterstützung, Optimierung oder zur partiellen Substitution von Geschäftsprozessen ist schon seit Jahrzenten Gegenstand vieler Arbeiten und Aktivitäten. Beispielhaft seien die Aktivitäten auf dem Gebiet der *Digitalen Fabrik* genannt. Unter diesem Begriff gebündelt, entwickelten und testeten produzierende Unternehmen – teilweise sehr kostenintensiv - gemeinsam mit Softwareproduzenten Methoden und Softwaresysteme zur Simulation von Produktionsanlagen, Fertigungs- und Produkt-/ Prototypentestprozessen. So gab es zum Beispiel in der Auto-mobilindustrie um die Jahrtausendwende das Ziel, keine Automobilfabrik mehr zu bauen, bevor alle zu realisierenden Fertigungsprozesse und Fertigungsstrukturen *digital abgesichert* sind. Die Vorteile eines solchen Vorgehens liegen auf der Hand. Neben der Verkürzung der Produktentwicklungszeiten und Fertigungszeiten können Anlagen und Produkte im Vorfeld optimiert werden, Fehler vermieden werden und mittelfristig können Entwicklungs- und Produktionskosten drastisch gesenkt werden. Gleichzeitig war man bestrebt, eine Transparenz hinsichtlich der natürlich gewachsenen Entwicklungs-, Produktions- und Logistikprozesse herzustellen und diese zu optimieren und zu standardisieren. Hierfür wurden in Teams „*Prozesstapeten*“ erstellt, die eine grafische

[1] Hochschule für Wirtschaft, Technik und Kultur (HWTK), Friedrichstr. 189, 10117 Berlin, ulrich.john@hwtk.de/ john@sir-john.de

doi:10.18420/in2017_61

Darstellung der analysierten Prozesse enthielten und fortführend in verschiedenen Gremien validiert, diskutiert und optimiert wurden. Resultate waren dann verschiedene Prozessbeschreibungen, wie z.B. bei der damaligen DaimlerChrysler AG das *MPS* (Mercedes Production System) und das *MDS* (Mercedes Development System), die dann zum Unternehmensstandard für die jeweiligen Bereiche ernannt wurden. Basierend auf diesen Standards wurden weitere Arbeiten durchgeführt. So erkannte man die Notwendigkeit, die Standardprozesse weiter zu optimieren und teilweise zu flexibilisieren. Ein weiterer Schritt auf diesem in Unternehmen typischen Weg ist/ war die Überführung der grafischen Prozessdarstellungen in Spezifikationen mittels Process Execution Languages (z.B. BPMN oder BEPL) oder/ und Process Execution Rules, wobei dann durch den Einsatz von Process Execution Software (oder Business Rule Engines) die Abarbeitung von Geschäftsprozessen unterstützt und teilweise automatisiert werden kann. Neben solchen Aktivitäten, nutzte man geeignete, sich entwickelnde Softwaretechnologien/ Paradigmen, um optimierende prozessintegrierte Systeme zu entwickeln, die insbesondere den operativen Betrieb, aber auch strategische Planungen, (vgl. z.B. [JW08]) unterstützen sollten. Hierfür wurden für einzelne Unternehmensbereiche Modelle zu Grunde gelegt, die entsprechend verändert werden können. Für weitere Aspekte und ausgewählte Komponenten von Digitalen Unternehmen/ „Digital transformierten" Unternehmen sei an dieser Stelle auf [Jo15] verwiesen.

Der derzeitig anhaltende Hype *Digitalisierung*, *Digitale Transformation* ist trotz der jahrzehntelangen Verfolgung der Grundziele und trotz der Überfrachtung des Marktes mit „Pseudo-Beratungsleistungen" gerechtfertigt, da einerseits durch verschiedene disruptive Technolgien (z.B. *Cloud Computing*) und Fortschritte auf dem Gebiet der Künstlichen Intelligenz neue Möglichkeiten für die Verarbeitung großer komplexer Probleme bestehen, andererseits existiert die Notwendigkeit, Unternehmen und Organisationen effizienter und transparenter zu gestalten und dabei möglichst Voraussetzungen für einen hohen Agilitätsgrad zu schaffen, der adäquate Reaktionen auf dynamische Änderungsanforderungen ermöglicht.

Recherchiert man oder fragt man auf Industriemessen Vertreter von größeren Unternehmen, ob ihr Unternehmen über ein eigenes Unternehmensmodell/ einen *Digitalen Zwilling* verfügt, so bejahen dies die wenigsten. Es ist zu vermuten, dass solche Modelle – wenn überhaupt – nur für einzelne Unternehmensbereiche vorliegen und dann auch nur als Grundlage für Simulationen – nicht geeignet als Grundlage für softwaregestützte strukturelle oder/ und funktionale Reorganisation. Die Erweiterung der Ziele der *Digitalen Fabrik* auf gesamte, beliebig geartete Unternehmen sowie Organisationen und die neuen technologischen Möglichkeiten schaffen einen „Stimulus" für die Digitale Transformation von Unternehmen. Unter anderem belastbaren Studien und Arbeiten folgend (z.B. [Be15] und [Sc15]) ist das Gelingen der Digitalen Transformation für deutsche und europäische Unternehmen und somit auch für die ableitbaren Gesellschaftsgrößen von entscheidender Bedeutung. Gelingt die Digitale Transformation zeitgerecht, so wird ein starkes Wirtschaftswachstum prognostiziert, scheitert sie, kann dies zu deutlichen Verlusten führen (vgl. [Be15]).

Unserer Meinung nach ist es für Unternehmen und Organisationen (ab einer bestimmten Größe) perspektivisch essentiell, neben geschäftsprozessgeprägten Teilmodellen, die die Prozessunterstützung und die Simulation von Geschäftsprozessen im Detail unterstützen, auch mit diesen „verzahnte", verarbeitbare Strukturmodelle zu besitzen, die dann zum Beispiel auch mit Komponenten des Wissensmanagements in Kontext gesetzt werden können. Solche Modelle sind heute meist nur partiell, in Papierform, codiert in EXCEL-Tabellen oder „in den Köpfen" von Managern vorhanden. Die Motivation für die Einführung *deklarativer Unternehmensstrukturmodelle* und begleitender Unternehmensprozesse – insbesondere im Kontext der Digitalen Transformation – ist einerseits die Unterstützung von optimierenden Struktur- und Funktionszuordnungs-Reorganisationen und andererseits die Automatisierung/ Digitalisierung von Managementfunktionalitäten. Beides gemeinsam kann „überlebenswichtige" Wettbewerbseffekte erbringen.

Vor einigen Jahren haben wir uns intensiv mit der Entwicklung von Methoden und Modellen für die flexible (optimierende) Konfiguration/ Rekonfiguration bzw. für das Design/ Redesign von komplexen Produkten (vgl. z.B. [JG03], [Ge04], [JG04]) und für ausgewählte Erweiterungen solcher Probleme beschäftigt. Ähnliche Ansätze haben über die Jahre erfolgreich Einzug in moderne Produktkonfigurationssysteme gehalten. Wir stellen die These auf, dass komplexe Unternehmensstrukturen (einschließlich der Funktionszuordnung zu diesen) sehr ähnlich zu den Strukturen komplexer Produktfamilien sind und dass die Entwicklung, Etablierung und Anwendung von erweiterten (Re)Konfiguration-Ansätzen für Unternehmensstrukturmodelle eine wesentliche Komponente der Digitalen Transformation von (großen) Unternehmen, Unternehmensverbünden und Organisationen sein kann/ wird.

In Kapitel 2 werden wir in Analogie zur Modellierung von komplexen Produkten kurz einige exemplarische Aspekte/ Elemente von deklarativen Unternehmensmodellen vorstellen. In den darauf folgenden Kapiteln werden Anwendungsszenarien diskutiert, bei denen deklarative Strukturmodelle von Unternehmen oder Organisationen eine nutzbringende Rolle spielen können. Im Anschluss daran werden einige weiterführende Arbeiten motiviert.

2 Deklarative Unternehmensmodelle

Wie bereits in der Einleitung erwähnt, erstellen und verwenden (größere) Unternehmen i.d.R. partielle Modelle, die Teilbereiche oder einzelne Teilaspekte abdecken. Einige der „Modellaspekte", insbesondere wenn sie die Organisation des Unternehmens betreffen, liegen oft lediglich in Papierform, codiert in EXCEL-Tabellen oder „in den Köpfen" von Mitarbeitern vor. Oftmals herrscht – zumindest für einige Teilbereiche – eine Intransparenz. Das heißt, solche Modelle sind unvollständig und nicht unmittelbar durch Softwaresysteme verwertbar. Die oft vorherrschende Nichtdeklarativität der partiellen Modelle verhindert darüber hinaus, eine Validierung und Weiterentwicklung dieser in Expertenrunden etc.. Eine Ausnahme hiervon machen in den letzten Jahren

Modellaspekte/ Teilmodelle, die sich auf die Prozesssicht und auf die Produktstrukturen oder auch auf die IT-Landschaft des Unternehmens beziehen. Sind prozessbezogene Teilmodelle etwa mittels *Process Execution Languages* oder als formale *Business Rules* formuliert, so können die modellierten Prozesse durch geeignete Softwaresysteme simuliert werden, als Basis für eine (automatisierte) Prozessabarbeitung verwendet werden und darüber hinaus gelegentlich analysiert und optimiert werden. Neben der Prozessmodellierung war die Produktmodellierung in produzierenden Unternehmen ein weiterer „Modell-Schwerpunkt". Insbesondere für die Unterstützung der Entwicklung neuer Produkttypen, für die Ermöglichung von Variantenkonfigurationen und die Berücksichtigung logischer Abhängigkeiten dieser zu Logistik, Fertigungsteilprozessen und erforderlichen Wartungsprozessen wurden umfangreiche Forschungs- und Ingenieurstätigkeiten durchgeführt. Weitere Forschungstätigkeiten betrafen und betreffen das Gebiet der Modellierung von Zuliefernetzen.

Für die Struktur und Funktionszuordnung von Unternehmen und die Ableitung notwendiger/ gewünschter Reorganisationsmaßnahmen, die dann natürlich auch wieder Auswirkungen auf die Prozesslandschaft und die eingebundenen IT-Funktionalitäten haben können, liegen unseres Erachtens Informationen in der Regel nur in nicht unmittelbar auswertbarer Form vor. Zum einen sind diesbezüglich Organigramme und Funktionspläne und zum anderen Stellenpläne und Stellenbeschreibungen verbunden. Hinsichtlich der Organisation bzw. Reorganisation existieren erhebliche Optimierungspotenziale. Zum einen gilt es, Unternehmensstrukturen rasch und zielpassend an neue Gegebenheiten anzupassen, diese auf zukünftige Anforderungen vorzubereiten. Zum anderen sind, insbesondere in größeren Unternehmen, erhebliche (in die existierenden Prozesse eingebundene) Managementkapazitäten für Reorganisationsbelange gebunden, die zumindest teilweise digitalisiert/ freigesetzt werden können. Dies bedeutet, dass es auch hier um die Perfektionierung und Digitalisierung/ Automatisierung von Managementfunktionalitäten geht. Analysiert man Managementstrukturen großer traditioneller Unternehmen, so wird man erkennen müssen, dass die hohe Anzahl von Managern und der zugeordneten Funktionsbereiche (zum Beispiel existieren bei der Daimler AG „unterhalb des Vorstandes" vier Managementebenen) ein erhebliches „Untersuchungspotenzial" im Kontext der Digitalen Transformation bilden.

2.1 Modellaufbau und permanente Modellvalidierung

Der These folgend, dass es für größere/ große Unternehmen sinnvoll ist, ein aktuelles und korrektes deklaratives Struktur- und Funktionszuordnungsmodell zu besitzen, das „computer-verarbeitbar" ist, wollen wir hier – in Analogie zur Spezifikation von Produktkonfigurationsmöglichkeiten vgl. z.B. [JG03], [JG04] oder [Ge04] – einige Kategorien/ Aspekte für die die Spezifikation von Unternehmensstrukturen benennen[2].

In Anlehnung an die Spezifikationssprache ConBaCon-L (vgl. z.B. [Ge04]) sollte hierfür

[2] Sicher sind perspektivisch noch einige Verfeinerungen und Erweiterungen einzuführen.

perspektivisch eine geeignete deklarative Spezifikationssprache entwickelt werden.

Komponentenbeziehungen

Ähnlich wie bei Produktkonfigurationen kann es in Unternehmen und Organisationen Komponentenbeziehungen geben. Zum Beispiel kann ein Produktionswerk aus verschiedenen Produktionshallen bestehen, Produktionshallen können wiederum verschiedene Fertigungslinien[3] besitzen, diese wiederum verfügen über verschiedene Stationen. Direktorate können verschiedene Hauptabteilungen besitzen, Hauptabteilungen Abteilungen und Abteilungen wiederum können aus Teams bestehen. Direktorate haben eine Direktorin/ einen Direktor, Hauptabteilungen, Abteilungen und Teams eine Leiterin/ einen Leiter. Leiter können *optional zugeordnet* Assistenzen haben, Teams haben eine gewisse Anzahl von Teammitarbeitern. Selbstverständlich können die einzelnen Objekte der so entstehenden Hierarchien Attribute besitzen, dies könnten zum Beispiel Aufgabenbereiche, *Funktionen*, *Qualifikationen*, *Rollen*, Kompetenzen oder Potenziale sein. Für einige Hinweise zur Erhebung und Erschließung objektiver diesbezüglicher Informationen sei auf [Jo15] verwiesen.

An dieser Stelle sei erwähnt, dass für meisten Aufgabenstellungen zusätzlich zu reinen Strukturspezifikationen eine integrierte Zuordnungsplanung von verfügbaren oder zu beschaffenen Ressourcen (z.B. Mitarbeitern) zu den „Blättern der Hierarchie(n)“ erfolgen muss. Auf eine ausführliche Darstellung aller erforderlichen Varianten und Spezifizierungsmöglichkeiten sei an dieser Stelle verzichtet. I.d.R. lassen sich so verschiedene Hierarchien/ Taxonomien (fiktives Beispiel in Abb. 1; Komponentenbeziehungen sind durch schwarze durchgezogene Linien dargestellt, optionale Komponentenbeziehungen durch blaue Linien) spezifizieren, die verknüpft sein können und damit ein semantisches Netz bilden.

Alternativen

Analog zu Produktmodellen, können einzelne Elemente durch instanzierende Alternativen geprägt sein (rote gepunktete Linien in Abb. 1). Der Leiter einer Hochschule oder Universität kann zum Beispiel entweder ein Rektor/ eine Rektorin sein oder aber eine Präsidentin/ ein Präsident. Die konkrete Ausprägung in der Organisation/ dem Unternehmen *Hochschule* hat dann Auswirkungen auf andere Modellelemente und Modellgrößen.

Optionale Bestandteile/ Komponenten

Wie bei Produktmodellen (bereits unter Komponenten „kennen gelernt“) kann es optionale Komponenten/ Bestandteile (in Abb. 1 blau dargestellt; grün dargestellt sind „gepackte“ Teilbäume) geben. Eine Abteilung kann zum Beispiel eine Abteilungsleiter-Assistenz haben, muss aber nicht. Eine Hochschule, die durch einen Präsidenten geleitet wird, kann einen zweiten Vizepräsidenten/ eine Vizepräsidentin haben, muss aber nicht. Die Existenz von optionalen Komponenten hat i.d.R. direkte Auswirkungen auf die

[3] exemplarisch gehen wir hier von einer Fließproduktion aus

Ausprägung von Modellattributen/ Modellgrößen und auf die Zuordnung von Funktionen zu Elementen der Hierarchie. Gibt es zum Beispiel an einer Hochschule keinen zweiten Vizepräsidenten, so hat dies direkte Auswirkungen auf den Aufgaben- und Verantwortungsbereich des ersten Vizepräsidenten.

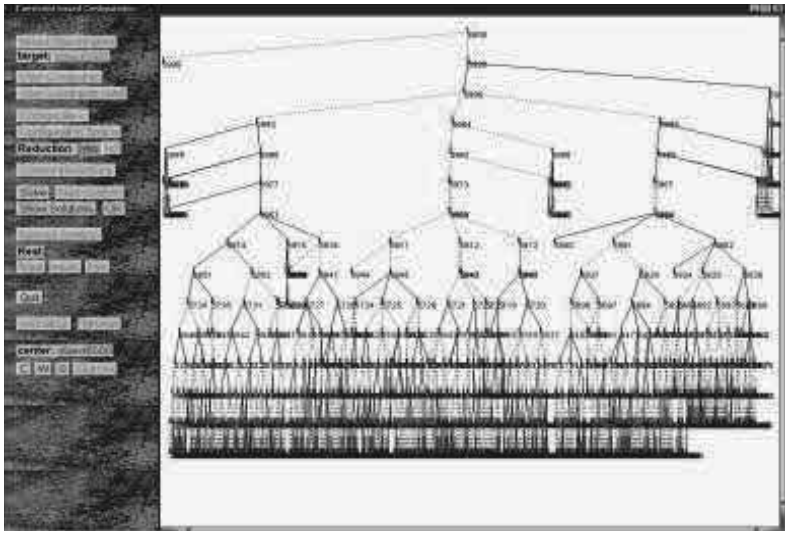


Abb. 1: Taxonomie eines Unternehmens – Darstellung mit ConBaCon

Randbedingungen/ Constraints

Zwischen Attributwerten, zwischen weiteren (möglicherweise globalen) Modellgrößen und auch hinsichtlich der Existenz von Objekten im der Modellinstanz kann es Zusammenhänge/ Abhängigkeiten geben. Wie bei den von uns spezifizierbaren Produktmodellen können diese Abhängigkeiten funktionale Abhängigkeiten sein, für die verschiedene Typen eingeführt werden sollten.

Bedingte Randbedingungen/ Constraints

Abhängigkeiten können bedingt sein. Eine Möglichkeit für solche ist zum Beispiel die Business-Regel „Wenn die Abteilung X mehr als 10 Projekte verantwortet, muss eine Abteilungsleiter-Assistenz existieren“.

Weiche Randbedingungen/ Constraints, Priorisierte Constraints

Wie in unseren Konfigurationsmodellen vorgesehen, muss man in Unternehmens-modellen weiche Randbedingungen/ Constraints spezifizieren können. Dies sind Randbedingungen, die nach Möglichkeit erfüllt sein sollen, aber nicht erfüllt sein müssen. Für die korrekte Verarbeitung solcher weicher Constraints, die darüber hinaus priorisiert sein können, haben wir im Kontext der Produktkonfiguration die Transformation sogenannter Constraint-Hierarchien realisiert. Ein Beispiel für eine weiche

Randbedingung wäre „Die Leitungsperson der Abteilung X soll nach Möglichkeit mindestens 5 Jahre Führungserfahrungen haben“.

Ohne im Rahmen dieses Papers auf weiterführende Details einzugehen, die zugegebener Weise noch entwickelt und untersucht werden müssen, stellen wir die These auf, dass Unternehmensstrukturen und die Zuweisungsmöglichkeiten von Funktionen und Ressourcentypen/ Ressourcen und deren mögliche Ausprägungen im Wesentlichen mittels der vorgestellten Spezifikationskategorien modelliert werden können. Ein weiterer interessanter zusätzlicher Aspekt ist die Integration von Historien- und zeitrelevanten Modellgrößen. Möchte man zum Beispiel eine Hochschule modellieren, so ergeben sich Auswirkungen auf die Organisation/ Reorganisation direkt aus den Modellausprägungen der vergangenen Semester. Hat eine Professorin zum Beispiel in den vergangenen Jahren eine Übererfüllung des Lehrdeputats realisiert, so kann als weiches Constraint der Abbau der „Überlehre“ für die kommenden Semester gefordert sein. Hat ein Professor x Jahre Lehre in vollem Umfang gemacht, so kann er z.B. ein Forschungssemester durchführen.

Von entscheidender Bedeutung für das Eigenmodell ist neben der Verarbeitbarkeit in erster Linie die *Korrektheit*. Um diese zu sichern, müssen entsprechende *Validierungs- und Adaptionsprozesse* entwickelt und etabliert werden. Zusätzlich könnten perspektivisch im Sinne des *Internet of Things* „an den Modellgrößen, bei denen es passt“ automatische Modellgrößenvalidierungen durchgeführt und bei Abweichung „gemeldet“ werden.

2.2 Eigen- und Fremdmodelle

Für den maximalen Erfolg von *Digital transformierten Unternehmen*/ *Digitalen Unternehmen* wird es unserer Meinung nach erforderlich/ förderlich sein, ein korrektes Eigenmodell (möglicherweise mit verschiedenen Abstraktionsstufen) zu besitzen, zu pflegen/ zu aktualisieren und durch geeignete Entscheidungsunterstützungssoftware (Flexible Interaktion, z.B. über ein Business Cockpits) zielkonform zu nutzen. Zum anderen ist es erforderlich, korrekte Modelle von fremden Unternehmen, zum Beispiel von Zulieferunternehmen, von Entwicklungspartnerunternehmen, von Konkurrenzunternehmen usw. zu besitzen, zu verwalten und zu managen. Natürlich ist es nicht oder selten möglich, alle relevanten Informationen über Fremdunternehmen zur Verfügung zu haben. Durch die allgemein verfügbare Daten- und Informationsmenge, die durch den Einsatz geeigneter Methoden und „Technologien“ erschlossen werden sollte, hat man perspektivisch jedoch voraussichtlich Möglichkeiten, relevante Informationen (automatisch) zu erheben[4] und in die entsprechenden Fremdmodelle aufzunehmen. Da solche Informationen und Daten Unsicherheiten bergen werden, sind entsprechende Modellerweiterungen hinsichtlich der Einbeziehung und korrekten Berücksichtigung von Wahrscheinlichkeiten zu entwickeln und zu untersuchen (probabilistische Modelle).

[4] Zum Beispiel durch permanenten Abgleich des bestehenden Modells mit durch Webcrawler und Information Delivery Services gelieferten Informationen.

Unter Nutzung des Eigen- (und der Fremdmodelle) werden softwaregestützte Reasoning-Prozesse in der Lage sein, Vorschläge für Reorganisationen oder die Durchführung und Ausprägung von Unternehmensaktivitäten zu generieren und zu bewerten. Einige Beispiele hierfür werden im folgenden Kapitel kurz skizziert.

3 Unterstützung optimierender Reorganisation

3.1 Effizienzsteigernde Reorganisation durch Kompetenz- und Potenzialberücksichtigung

Traditionelle große Unternehmen weisen i.d.R. eine große Intransparenz auf. Man kann unterstellen, dass diese zumindest von einigen Managern „als angenehm“ empfunden wird. Aus Sicht des Gesamtunternehmens bzw. der Unternehmenseigentümer wäre es wünschenswert, wenn eine Besetzung der einzelnen Unternehmenspositionen und die Zuordnung von Funktionen zu Positionen und von Personen zu Funktionen und Aufgaben sowie die eigentliche Festlegung von Unternehmensstrukturen optimal erfolgen würde. Dies bezieht sich einerseits auf die konkret vorliegenden Anforderungen, kann aber auch zeitliche Entwicklungsaspekte beinhalten. Hat man in einem deklarativen Unternehmensmodell die wesentlichen Anforderungen an Stellenbesetzungen, Funktions- und Aufgabenzuweisungen erfasst (ggf. zusätzlich auch detaillierte Kapazitätsanforderungsprofile) und zusätzlich detaillierte, belastbare Informationen hinsichtlich der Eigenschaften (Qualifikationen, Erfahrungen, Kompe-tenzen, Potenziale) von Unternehmensmitarbeitern (und „beschaffbarer“ zukünftiger Mitarbeiter), so hat man ein formalisiertes Optimierungsproblem vorliegen, das im Prinzip durch geeignete constraint- und regelbasierte Ansätze (analog zu erweiterten (Re)Konfigurationsansätzen) gelöst werden kann. Eine besondere Rolle kommt in den vergangenen Jahren in personalpolitischen Unternehmensentscheidungen den Potenzialen und persönlichen Eigenschaften von Mitarbeitern zu. Persönliche Eigen-schaften ändern sich ab einem gewissen Alter kaum und lassen sich relativ gut durch entsprechende Tests erheben (z.B. Belbin-Test). Als Ergebnis solcher Tests liegen ein bis drei stark ausgeprägte Teamrollenmerkmale pro Mitarbeiter vor. Die Lehre und die Erfahrungen besagen, dass es in jeglichem Team (z.B. Projektteam, Arbeitsteam, Team der Abteilungsleiter einer Hauptabteilung, Team der Hauptabteilungsleiter eines Direktorats usw.) zu empfehlen ist, jede der Rollen des Belbin-Modells stark ausgeprägt vorliegen zu haben. Hat man diese Persönlichkeitsinformationen über seine Mitarbeiter, so kann man die o.g. Forderung zusätzlich zu Constraints hinsichtlich vorliegender Kompetenzen, Erfahrungen und Potenziale als weiches Constraint für jedes Team des Unternehmens formulieren und bei der Generierung von Reorganisationsvorschlägen (im Sinne von Besetzungen) berücksichtigen lassen.

3.2 Qualifikationsmanagement und Unterstützung des HR-Bereichs

Aufgrund der durch das deklarative Unternehmensmodell gebotenen (objektiven) weitgehenden Transparenz hinsichtlich vorliegender fachlicher Qualifikationen und Erfahrungen lässt sich unter Berücksichtigung aktueller und künftiger Anforderungen systemgestützt ableiten, welche Qualifikations- und Schulungsbedarfe vorliegen und vorliegen werden. Abhängig von den im Modell ebenfalls aktuell repräsentierten Verfügbarkeiten und dem zur Verfügung stehenden Budget lassen sich entsprechende Maßnahmen planen (Qualifikationsplanung), kontrollieren und dokumentieren. Eine zusätzliche Möglichkeit ist – abhängig von der allgemeinen Personallage – die Ableitung von Qualifikationskombinationen und Kombinationen von persönlichen Eigenschaften, die dann die Grundlage für Stellenausschreibungen und Assessmentveranstaltungen bilden kann. Erkenntlich wird hierbei, dass aufgrund des Vorhandenseins eines korrekten Unternehmensmodells und entsprechender Verarbeitungssoftware einerseits eine qualitativ bessere Personalverwaltung und –beschaffung realisiert werden kann, andererseits können insbesondere in großen Unternehmen HR-Bereichs-Kapazitäten in erheblichen Umfang (durch Digitalisierung) eingespart/ entlastet werden.

3.3 Ableitung/ Planung von Strategien/ Maßnahmen

Unabhängig von Weiterbildungs-/ Qualifizierungsmaßnahmen lassen sich mittel- und langfristig weitere Personalentwicklungsmaßnahmen und Personalentwicklungsstrategien planen und realisieren. Diese sind nicht zwingender Weise im HR-Bereich angesiedelt, sondern werden – zumindest teilweise – direkt von Managementprozessen gesteuert. Dazu gehört zum Beispiel die Planung und Durchführung von Hospitationen, von „personalwechselgetriebener Wissensverbreitung“, von Jobrotationen, von Teamentwicklungen etc.. Verfügt ein Unternehmen über ein digitales (deklaratives) Unternehmensmodell, das auch zeitliche Aspekte und ggf. Historieninformationen beinhaltet, so sind solche Strategien zielkonform planbar. Ebenfalls lassen sich durch die Berücksichtigung von Unternehmenshistorieninformationen hindernde und erfolgshemmende Personal-Cluster vermeiden.

Eine besondere Rolle können weiterführende unternehmenszielförderliche Organisationsstrategien haben. So kann es zum Beispiel temporär gewünscht sein, im Unternehmen thematisch konkurrierende Abteilungen oder Projekte zu haben, um die Gesamtperformanz „zu befeuern“. Solche Aspekte lassen sich basierend auf einem Unternehmensmodell ebenfalls adäquat berücksichtigen.

3.4 Substitution von Teilprozessen/ Funktionalitäten durch reife Technologien

Im Zuge der Digitalen Transformation ist es (perspektivisch) zur Erhaltung der Wettbewerbsfähigkeit erforderlich, zu erkennen, wann technologische Entwicklungen einen stabilen Reifegrad erreicht haben und ob sie nutzbringend im Unternehmen

einsetzbar sind. Dieses wird durch die Deklarativität des Unternehmensmodells unterstützt. Ein Beispiel hierfür sind die sogenannten *robo adviser*, die teilweise auch gut mit einem Sprachinterface (z.B. *Amazon Alexa*, englische Sprachvariante) funktionieren. Erkennt man in den Funktionsbeschreibungen seines Unternehmens-modells, dass Auskunfts- und Beratungsfunktionalitäten vorhanden sind (bei Hochschulen zum Beispiel Studienberatungsfunktionalitäten), so sollte man analysieren, ob diese ersetzt oder zumindest ergänzt werden sollten. Ein weiteres Beispiel sind Planungsfunktionalitäten. Sind an Stellen des Unternehmens Planungsfunktionalitäten (z.B. Stunden- und Kursplanungen in Einrichtungen eines Bildungskonzerns) geknüpft, die derzeit – möglicherweise mit erheblichem Kapazitätsaufwand und einem hohen Grad an erforderlichem Erfahrungswissen – wahrgenommen werden, so würde es sich anbieten, zu prüfen, ob diese Funktionalitäten durch Planungssoftware substituiert werden können oder solche zumindest unterstützend und kapazitätsentlastend verwendet werden kann. Überlegenswert wäre in diesen Zusammenhang, inwieweit auch das für die Vorbereitung solcher Substitutionsentscheidungen erforderliche Technologie Monitoring digital unterstütz werden kann.

Sinnvoll erscheint es in jedem Falle, in seinem Unternehmensmodell Historien-informationen, ähnlich einer rücksetzbaren Versionsverwaltung, zu repräsentieren. Damit wäre es relativ unkompliziert möglich, bei einem möglicherweise eintretenden Misserfolg einer Substitution (vorerst) zur bewährten Organisationsvariante zurück zu kehren.

4 Fusionen, Teilveräußerungen und Partnerschaften im Sinne virtueller Unternehmen

Blickt man in die heutige Wirtschaftswelt, so muss man feststellen, dass Fusionen, Teilverkäufe, Kooperationen etc. „gängige“ Unternehmensmaßnahmen sind. In allen dieser Fälle ist es förderlich, über Eigen- beziehungsweise auch Fremdmodelle zu verfügen. Besitzt ein Unternehmen vor einer geplanten Fusion ein korrektes Eigenmodell und verfügt es zusätzlich über einen digitalen Zwilling (als Fremdmodell) des für die Fusion vorgesehenen Unternehmens, so lassen sich im Vorfeld detailliert mögliche Effekte einer Fusion abschätzen und bewerten. In diesem Zusammenhang lassen sich bereits entsprechende Maßnahmen planen, die den Fusionsprozess erfolgreich realisieren sollen. Gerade hier gibt es in der Praxis erheblichen Unterstützungsbedarf. Insbesondere die oftmals vorliegende Intransparenz stellt in Fusionsprozessen ein großes Risiko dar und führt nicht selten zum Scheitern.

Ähnlich lassen sich unter Verwendung der Unternehmensmodelle anzubahnende Kooperationen bewerten und planen.

Im Falle des geplanten Verkaufs von Teilen des Unternehmens lassen sich einerseits für den potenziellen Käufer valide Informationen zur Verfügung stellen. Möglicherweise ist dieser auch in der Lage, unter Nutzung eines zur Verfügung gestellten Teilunter-nehmensmodells Planungen und Simulationen durchzuführen. Darüber hinaus bietet das

Unternehmensteilmodell aufgrund der Deklarativität eine geeignete Grundlage für gemeinsame Analysen und Diskussionen. Auf der anderen Seite kann das verkaufende Unternehmen im Vorfeld auf Grundlage seines Unternehmensmodells „gewisse Vorkehrungen“ planen und treffen, um den Verkauf gut vorzubereiten und zum Beispiel gewünschte Qualifikationen/ Kompetenzen in den verbleibenden Unternehmensteilen zu erhalten.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Wir haben im Paper motiviert, dass Unternehmensstrukturmodelle ähnlich zu den von uns in der Vergangenheit spezifizierten Typen von komplexen Produkten sind[5]. Mit ähnlichen Spezifikationselementen und analogem Modellierungsvorgehen lassen sich Deklarative Unternehmensmodelle erstellen, die sich insbesondere auf die Unterneh-mensstruktur und die Organisation/ Reorganisation/ Weiterentwicklung der Unterneh-mensstruktur beziehen, wobei zusätzlich zu reinen Konfigurations- und Rekonfi-gurationsproblemen eine Zuordnung von Kapazitäten und Funktionalitäten betrachtet wird. Weitere Modellerweiterungen und Ergänzungen erscheinen sinnvoll. Da, wie ausgeführt, derzeit insbesondere Prozessmodelle sowie mit diesen verknüpfte IT-System-/ IT-Funktionsmodelle von Unternehmen verwendet werden und diese natürlich eine erhebliche Rolle spielen, ist perspektivisch auch zu untersuchen, wie diese Modelle integriert bzw. gekoppelt werden können, sodass in der Tat ein gesamtheitliches Unternehmensmodell realisiert und zur Unterstützung unterschiedlichster Management-funktionalitäten/ -entscheidungen (einschließlich der Behandlung von verknüpften Fragen des Enterprise Architecture Managements) verwendet werden kann.

Wir stellen die These auf, dass Unternehmens-Reorganisationen effizient durch Software geplant und unterstützt werden können, die im Wesentlichen auch auf Erweiterungen des von uns für Produktkonfigurationen entwickelten constraint-basierten Konfigurations-modells ConBaCon (vgl. z.B. [Jo00], [JG02], [JG03], [JG04]) und dessen Erweiterungen basiert. Sicherlich sind zusätzliche Arbeiten und Untersuchungen erforderlich, die einerseits die bereits erwähnte notwendige inhaltliche Erweiterung abdecken, aber insbesondere die Handhabbarkeit großer Modelle gewährleisten sollen/ müssen. Hierfür wird man die diesbezüglich für Konfigurationsprobleme entwickelten Ansätze ausbauen und testen müssen. Möchte man modellseitig auch komplexe Reorganisations-Strategieplanungen ermöglichen, sind zusätzliche Scheduling-Erweiterungen zu integrieren/ zu entwickeln.

In Anlehnung an unser Konfigurationsmodell sind also für die umfangreiche Nutzung einige Erweiterungsaspekte zu untersuchen. Dazu gehören zum Beispiel auch Funktionalitäten für die Verarbeitung und Berücksichtigung probabilistischer Aspekte, insbesondere für die (teilweise automatische) Erstellung von Fremdmodellen. Technologische Erweiterungen, die die Validierung und Aktualisierung der Modelle

[5] Sicherlich sind einige Erweiterungen durchzuführen, diese wurden bereits teilweise genannt.

unterstützen sollen, sind ebenfalls zu empfehlen.

Das Vorhandensein eines korrekten Eigenmodells und von Modellen fremder relevanter Firmen sowie die Fähigkeit, diese Modelle zielgerichtet (softwarebasiert) zu nutzen, kann ein wettbewerbs-entscheidender Faktor von digital transformierten/ Digitalen Unternehmen sein. Einerseits lassen sich optimierende Reorganisationen rascher und verlässlicher planen und bewerten. Andererseits lassen sich voraussichtlich Managementkapazitäten in nicht unerheblichem Umfang einsparen und die Digitalisierung einzelner Unternehmensfunktionalitäten an sich wird in transparenter Weise zum Gegenstand der modell- und softwaregestützten Überlegungen.

Nicht thematisiert wurden im Paper die Umsetzungsmöglichkeiten für reine Designaufgaben, d.h. für die automatische Ableitung notwendiger *neuartiger* Strukturänderungen, ebenfalls nicht Problemaspekte, die sich bei Vorliegen sehr großer Unternehmensmodelle ergeben werden. Für solche großen Problemspezifikationen (für Produktkonfigurationen, vgl. oben) wurden verschiedene Untersuchungen und Erweiterungsvorschläge durchgeführt (z.B. [Jo00], [JG03]). Durch die erreichte Praxistauglichkeit des Cloud Computings lassen sich diesbezüglich gut praktische Untersuchungen und Weiterentwicklungen durchführen.

Als ein nächster Schritt ist die Durchführung eines studentischen Projekts vorgesehen, das für unsere Hochschule ein deklaratives Unternehmensmodell entwickeln soll und im Anschluss, neben der Durchführung einiger Erweiterungen und Systematisierungen, untersuchen soll, inwieweit und welche Management- und Verwaltungsfunktionalitäten digitalisiert oder digital unterstützt werden können. In diesem Zusammenhang wird auch die Unterstützung der Entwicklungsplanung der Hochschule (z.B. Vorbereitung und Einführungsplanung neuer Studiengänge) eine Rolle spielen. Für einige diesbezügliche Aspekte sei auf [Jo14] verwiesen.

Literaturverzeichnis

[Be15] Roland Berger Strategy Consultants: Die digitale Transformation der Industrie. Studie im Auftrag des BDI, 2015, www.bdi.eu/media/presse/publikationen/information-und-telekommunikation/Digitale_Transformation.pdf

[Ge04] Geske, U.: Constraint-Rules for Configuration Problems. Proc. of PAKM 2004, Lecture Notes in Computer Science, Vol. 3336, Springer 2004.

[JG02] John, U., Geske, U.: Konfiguration komplexer Produkte mit Constraint-basierter Modellierung. Informatik Forschung und Entwicklung Bd. 17, Springer Dezember 2002.

[JG03] John, U., Geske, U.: Constraint-based Configuration of Large Systems. In "Web Knowledge Management and Decision Support. (O. Bartenstein et al (Ed.))". Lecture Notes in Computer Science, Vol. 2543, Springer-Verlag, 2003.

[JG04] John, U., Geske, U.: Integrating Time Constraints into Constraint-Based Configuration Models. In (D. Seipel et al (Ed.)) "Applications of Declarative Programming and

Knowledge Management.", Post-Conference Proceedings of INAP / WLP 2004, Lecture Notes in Computer Science, Vol. 3392, Springer-Verlag, 2004.

[Jo00] John, U.: Solving Large Configuration Problems Efficiently by Clustering the ConBaCon-Model. In "Intelligent Problem Solving. Methodologies and Approaches. (R. Loganantharaj et al (Ed.))". Lecture Notes in Computer Science, Vol. 1821, Springer Verlag 2000.

[Jo14] John, U.: Design and Redesign of University Course Programs. 28. Workshop „Planen, Scheduling und Konfigurieren, Entwerfen" (PuK 2014) auf der KI 2014. Stuttgart, 2014.

[Jo15] John, U: Digitales Unternehmen – Bausteine für Effizienz, Agilität und Transparenz. In (Cunningham, D. et al (Ed.)) Proc. INFORMATIK 2015, Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, 2015.

[JW08] John, U.; Windisch, H.: Agility and Cost Optimization – multi-purpose planning software for automotive industry. CHIP User's Club Meeting 2008. Paris 2008.

[Sc15] Scheer, A.-W.: The Big Change – Auswirkungen der digitalen Transformation auf Unternehmen und Organisationen, Magazin für Innovation, Organisation und Management, Heft 1, 2015, www.im-io.de.

Partizipatives Entwerfen soziotechnischer Systeme

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 669

Partizipatives Entwerfen Soziotechnischer Systeme

Arne Berger[1], Andreas Bischof[1], Sören Totzauer[1], Kevin Lefeuvre[1], Michael Storz[1] und Albrecht Kurze[1]

Keywords: Partizipation, Co-Design, Interdisziplinarität, integrierte Forschung, Entwurfsprozesse, Mensch-Computer-Interaktion, Mensch-Roboter-Interaktion, Demographischer Wandel

Workshop

Eine der „Grand Challenges" der Gesellschaft für Informatik (GI) ist die „Allgegenwärtige Mensch-Computer-Interaktion". Sie beschäftigt sich mit der Frage, wie Technikentwicklung dazu beitragen kann, dass alle Menschen von Informations- und Kommunikationstechnik profitieren können.

Auch die deutsche Forschungslandschaft hat sich einiger der Forschungsfragen dieser Grand Challenge angenommen, die wir im Workshop multiperspektivisch diskutieren möchten. Der Fokus des Workshops liegt in diesem Jahr daher auf den interdisziplinären Aspekten des partizipativen Entwerfens soziotechnischer Systeme gemeinsam mit älteren Menschen. Partizipatives Entwerfen bietet ein breites Methodenrepertoire um zukünftige Verwenderinnen und Verwender an Entwurfsprozessen zu beteiligen. Dieses Spektrum an Methoden ist auch in der interdisziplinären Community wenig formalisiert und macht eine interdisziplinäre Bestandsaufnahme erforderlich.

Entsprechend sind die Themengebiete des Workshops:

- Aspekte der Partizipation älterer Menschen an Entwurfsprozessen
- Anfang, Mitte und Ende partizipativer Entwurfsprozesse
- Interdisziplinäre Perspektiven & Herausforderungen partizipativer Entwurfsprozesse
- Chancen und Grenzen interdisziplinärer und partizipativer Technikentwicklung

Der Workshop dient zugleich auch als jährliches Gruppentreffen der acht vom BMBF geförderten interdisziplinären Nachwuchsforschergruppen der Bekanntmachung „Interdisziplinärer Kompetenzaufbau für die Mensch-Technik-Interaktion im demographischen Wandel", die sich auch einiger Forschungsfragen dieser Grand Challenge angenommen haben.

[1] Technische Universität Chemnitz, Professur Medieninformatik, Projekt Miteinander, 09107 Chemnitz, vorname.nachname@informatik.tu-chemnitz.de

doi:10.18420/in2017_62

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 671

Co-creation eines digitalen Stadtteilwegweisers für und mit älteren Menschen

Juliane Jarke[1] und Ulrike Gerhard[2]

Keywords: Participatory Design, Civic Tech, Open Data

1 Extended Abstract

Immer mehr öffentliche Dienstleistungen werden über digitale Medientechnologien angeboten. Insbesondere durch die Bereitstellung von offenen Verwaltungsdaten[3], wird die Entwicklung neuer Dienste durch zivilgesellschaftliche Akteure oder privatwirtschaftliche Unternehmen angestrebt [e.g. Shak13]. Bislang ist der nachhaltige Erfolg dieser Bestrebungen jedoch ausgeblieben [SiJo15, LeAW15]. Denn das Bereitstellen offener Daten führt nicht automatisch zu mehr Transparenz, Bürgernähe und Effizienz in der Verwaltung [BrKu16]. Weiterhin variiert die Nutzung dieser Dienstleistungen seitens der Bevölkerung stark. Insbesondere die Erwartungen und Bedürfnisse älterer Bürgerinnen und Bürger werden offenbar mit solchen digitalen Diensten nicht erfüllt [OBHI17].

Vor diesem Hintergrund möchte das EU-Projekt MobileAge[4] ältere Menschen in den Prozess der inhaltlichen und technischen Entwicklung von auf offenen Daten basierenden Online-Diensten einbeziehen. Ziel des Projektes ist es einerseits durch die gemeinschaftliche Definition und Entwicklung von Diensten, Anwendungen zu entwickeln, die die Lebensumstände älterer Menschen verbessern sollen. Andererseits sollen Methoden und Verfahrensweisen entwickelt und erprobt werden, die auch in Zukunft älteren Menschen einen Mitgestaltungsraum für innovative Dienstleistungen bieten sollen. Dies geschieht unter dem Begriff „co-creation“. Dazu werden in vier europäischen Städten und Regionen in Großbritannien, Spanien, Griechenland und Deutschland Methoden zur effektiven und umfassenden Einbindung älterer Menschen in den Entwicklungsprozess entwickelt, erprobt und evaluiert. In MobileAge wird co-creation als situativ-praxisorientierter Ansatz verstanden, um Services für eine alternde Gesellschaft zu definieren, zu designen und zu implementieren. Co-creation setzt hierbei

[1] Institut für Informationsmanagement Bremen (ifib), Universität Bremen, Am Fallturm 1, 28359 Bremen, jjarke@ifib.de
[2] Institut für Informationsmanagement Bremen (ifib), Universität Bremen, Am Fallturm 1, 28359 Bremen, ugerhard@ifib.de
[3] Offene Daten, sind Daten die ohne jegliche Einschränkungen genutzt, weiterverbreitet und weiterverwendet
[4] Dieses Projekt wird finanziert von der Europäischen Union im Rahmen des Forschungs- und Innovationsprogramm Horizon 2020 unter der Fördernummer 693319.

doi:10.18420/in2017_63

im Alltagsleben älterer Menschen an, ihren Bedürfnissen und Resourcen.

Historisch, ist co-creation in zwei Strömungen verankert: Ein Ursprung findet sich in einer Verlagerung des Fokus von privatwirtschaftlichen Unternehmen auf Kunden und Nutzer, um deren Wünsche besser zu verstehen und externes Wissen für die Entwicklung von Produkten und Services zu nutzen [PiIV10]. Mit Blick sowohl auf die Entwicklung und Erbringung von Dienstleistungen für Bürgerinnen und Bürger, als auch auf zivilgesellschaftliche Beteiligungsprozesse, ist diese Servicelogik oder Nutzerzentrierung insbesondere für öffentliche Verwaltungen interessant [AiSt15, NaNa13].

Ein weiterer Ursprung der Nutzerbeteiligung in IT-Gestaltungsprozessen stammt von drei verschiedenen partizipativen Design Ansätzen (PD): der britischen ETHICS-Methode [MuHe79, Mumf81], dem Skandinavischen Ansatz der bekannten DEMOS- und UTOPIA-Projekte [Ehn88] sowie dem US-amerikanischen Ansatz des "Cooperative Design" [GrKy91]. In dieser Tradition liegt der Fokus der Einbeziehung zukünftiger Nutzerinnen und Nutzer auf ihrer "kollektiven Kreativität" [SaSt08], welche sich idealerweise durch den gesamten Designprozess zieht.

Die folgende Grafik gibt einen Überblick, über die verschiedenen Aktivitätenbereiche/ Interventionsbereiche eines Co-Creation-Prozess, wie er in den vier MobileAge Pilotprojekten durchgeführt wird [JKGH17]. Diese Aktivitäten/Interventionen laufen nicht sequentiell, sondern werden parallel durchgeführt und beeinflussen/bedingen sich gegenseitig. Ältere Menschen, öffentliche Verwaltungen und andere Akteure sind in allen Bereichen aktive Teilnehmende.



Abbildung 1: Verschiedene Co-Creation-Aktivitäten

Hier berichten wir von unseren Erkenntnissen in der Bremer Pilotstudie von Mai 2016 bis Januar 2017: In einem offenen Entwurfsprozess haben eine Gruppe älterer Menschen sowie verschieden lokale Akteure gemeinsam mit Forscherinnen und Forschern sowie Entwicklerinnen und Entwicklern einen digitalen Stadtteilwegweiser entwickelt.

Konkretes Ziel der Aktivitäten in Bremen ist es, einen digitalen Online-Dienst zu entwickeln, der die gesellschaftliche Teilhabe älterer Menschen unterstützt. Aufgrund des

sich im Alter zunehmend einschränkenden Radius gilt die direkte räumlich-soziale Umgebung (das Zuhause, die Nachbarschaft, der Stadtteil) als primärer Bezugspunkt für das Wohlbefinden im Alter [Wolt11]. Die Idee hinter den Co-creation-Aktivitäten in Bremen ist es, eine stadtteilbasierte Web-Anwendung zu entwickeln, die diesen sozial-räumlichen Aspekt gesellschaftlicher Teilhabe durch das Bereitstellen von relevanten Informationen und Funktionen unterstützen soll. Welche Art der Anwendung mit welchen Funktionen und welchen konkreten Informationen dies leisten kann sowie die Art der Darstellung und des Designs wurde und wird in enger Zusammenarbeit mit den Zielpersonen vor Ort sowie verschiedenen lokalen Akteuren erarbeitet (z.B. Ortsamt, Quartiersmanager, Dienstleistungszentren, Seniorenvertretung). Co-creation in diesem Sinne meint also das gemeinschaftliche Entwerfen und Gestalten eines Dienstes mit den verschiedenen Akteuren von Beginn an. Diese Akteure umfassen u.a. ältere Menschen und/oder Seniorenorganisationen und Seniorenclubs, (pflegende) Angehörige, Softwareentwickler, Dienstleistungsanbieter, öffentliche Verwaltungen, datenhaltende Stellen.

Die späteren Nutzerinnen und Nutzer wurden und werden von Beginn an substantiell in den Entwicklungsprozess einbezogen: Mit einer Gruppe von elf älteren Menschen im Stadtteil Osterholz haben wir über einen Zeitraum von acht Monaten an der Erarbeitung von Ideen, der Definition und Konzeption des Dienstes, der Sammlung von Daten, dem Interfacedesign und der Evaluation der Anwendung gearbeitet. Die frühe Phase der Ideengeneration wurde methodisch mit Cultural Probes [BoGB12, GaDP99, MSBB16] umgesetzt, einer Selbstaufschreibungs- und Dokumentationsmethode aus der Designforschung. Diese partizipative Untersuchung des Alltags der Teilnehmerinnen und Teilnehmer, ihrer sozial-räumlichen Vernetzung, ihrer Bewegungsmuster und ihrer Mediennutzung soll die tatsächliche Relevanz des zu entwickelnden Services gewährleisten und die Konstruktion der Nutzenden auf Grundlage von Stereotypen vermeiden. In zwei- bis dreiwöchentlich stattfindenden Gruppendiskussionen und Workshops wurden auf dieser Grundlage relevante Themen und Inhalte definiert und verschiedene Funktionalitäten diskutiert, verworfen und ausgewählt. Daraufhin wurden die notwendigen Datensätze identifiziert, validiert und z.T. von Teilnehmerinnen und Teilnehmern selbst erhoben. Schließlich wurden die Art der Darstellung und das Interfacedesign mithilfe von Papier-Mock-ups entworfen.

Entstanden ist ein digitaler Stadtteilwegweiser für einen Bremer Stadtteil, der über schöne und geschichtlich interessante Plätze und Wege im Freien, kulturelle Veranstaltungen und Einrichtungen, Treffpunkte und Bewegungsmöglichkeiten informiert. Die substantielle Beteiligung älterer Menschen im gesamten Entwurfsprozess hat sich als dabei als Herausforderung erwiesen. Unsere ersten Erkenntnisse betreffen folgende Dimensionen:

Die Prozessperspektive (Co-creation als Beteiligungsprozess) bezieht sich auf die Zugänglichkeit, Relevanz, Effektivität und Transparenz des Co-creation-Prozesses.

Ein Beispiel ist die Rekrutierung von Teilnehmerinnen und Teilnehmern, welche sich schwierig gestaltet, wenn das Ergebnis zu Beginn des Prozesses offen ist. Gleichzeitig

sollte eine zu enge Rahmung vermieden werden. Hinzu kommt, dass bei der Rekrutierung einer festen Gruppe für den gesamten Prozess die Anforderung an die Teilnehmerinnen und Teilnehmer in zeitlicher wie inhaltlicher Art sehr hoch sind, was sich als Barriere im Beteiligungsprozess erwiesen hat. Es erscheint zielführender für unterschiedliche Aufgaben in den verschiedenen Phasen des Entwicklungsprozesses unterschiedliche Personen zu gewinnen, die sich je nach Interessen und Fähigkeiten punktuell einbringen können. Diese Rollen umfassen etwa die Identifizierung von Problemfeldern/-bereichen, die Entwicklung von Lösungsansätzen und Ideen, das Identifizieren, Sammeln, Validieren, Integrieren und Bearbeiten von relevanten Daten sowie Verfassen von Informationstexten, das Co-Design und die kontinuierliche Evaluierung von Prototypen sowie deren Verbreitung.

Die Produktperspektive (Co-creation zur Serviceentwicklung) bezieht sich auf die Nutzerfreundlichkeit, Nachhaltigkeit und Relevanz des entwickelten Service. Es gibt eine Vielzahl an Problemen und Bedürfnissen, die mit Hilfe von Technologie nur sehr begrenzt bewältigt werden können (z.B. Infrastruktur, altersfreundliche Umgebungen). Die Grenzen der Einflussmöglichkeiten technologischer Innovationen müssen im Beteiligungsprozess von Beginn an reflektiert und transparent gemacht werden. Die von unserem Vorhaben angesprochenen Menschen bilden eine recht homogene Gruppe aktiver und verhältnismäßig gesunder Menschen, deren Interessen und Wünsche sich in der entwickelten Anwendung widerspiegeln. Inwiefern ein solches Angebot für weniger gut vernetzte und weniger mobile Menschen relevant ist, wird derzeit im Rahmen einer Evaluation und einer zweiten Studie in einem anderen Bremer Stadtteil erhoben.

Die Datenperspektive (Datengetriebene Bürgerbeteiligung) bezieht sich auf die Potenziale des zivilgesellschaftlichen Engagements auf Grundlage von offenen Verwaltungsdaten: Die Vorstellung eines datengetriebenen, partizipativen Entwurfsprozesses hat sich insofern als irreführend erwiesen, als für die von den Teilnehmerinnen und Teilnehmern als relevant angesehenen Informationen kaum offene Daten zur Verfügung stehen. Daher mussten die entsprechenden Daten in kleinteiliger Arbeit gesammelt und aufbereitet werden. Diese Form der Co-creation von Daten birgt jedoch das Potenzial auch Menschen mit geringem Interesse an und Erfahrung mit Technologie für die Beteiligung zu gewinnen.

Literaturverzeichnis

[AiSt15] Aichholzer, G.; Strauß, S.: Collaborative Forms of Citizen (e-)Participation. In: Aichholzer, G. ; Kubicek, H. ; Torres, L. (Hrsg.): *Evaluating e-Participation Frameworks, Practice, Evidence.*. Cham: Springer International Publishing, 2015, S. 109–122

[BoGB12] Boehner, K.; Gaver, B.; Boucher, A.: Probes. In: Lury, C. ; Wakeford, N. (Hrsg.): *Inventive methods: the happening of the social*, *Culture, economy and the social*. London : Routledge, 2012

[BrKu16] Breiter, A.; Kubicek, H.: Offene Verwaltungsdaten und Verwaltungstransparenz. In: *Verwaltung & Management* Bd. 22 (2016), Nr. 6, S. 283–296

[Ehn88] Ehn, P.: *Work-Oriented Design of Computer Artifacts*. Stockholm : Lawrence Erlbaum Assoc, 1988

[GaDP99] Gaver, B.; Dunne, T.; Pacenti, E.: Design: Cultural Probes. In: *interactions* Bd. 6 (1999), Nr. 1, S. 21–29

[GrKy91] Greenbaum, J.; Kyng, M.: *Design at Work: Cooperative Design of Computer Systems*. New Jersey : Lawrence Erlbaum Ass., Hillsdale, 1991

[JKGH17] Jarke, J.; Kubicek, H.; Gerhard, U.; Hayes, N.; Introna, L.; Banerjee, A.: *Interim study on co-creation activities* : MobileAge Project, 2017

[LeAW15] Lee, M.; Almirall, E.; Wareham, J.: Open Data and Civic Apps: First-generation Failures, Second-generation Improvements. In: *Commun. ACM* Bd. 59 (2015), Nr. 1, S. 82–89

[MSBB16] Maaß, S.; Schirmer, C.; Bötcher, A.; Buchmüller, S.; Koch, D.; Schuhmacher, R.: Partizipative Entwicklung von Technologien für und mit ältere/n Menschen. Bremen, 2016

[MuHe79] Mumford, E.; Henshall, D.: *A participative approach to computer systems design*. London : Associated Business Press, 1979

[Mumf81] Mumford, E.: *Values, Technology and Work*, *Information Systems* : Martinus Nijhoff, 1981

[NaNa13] Nambisan, S; Nambisan, P.: *Engaging Citizens in Co-Creation in Public Services Lessons Learned and Best Practices*. Washington, DC : IBM Center for The Business of Government, 2013

[OBHI17] Oliphant, R.; Banerjee, A.; Hayes, N.; Introna, L.; Kubicek, H.; Jarke, J.; Gerhard, U.: *Interim study on accessibility, digital mobility and open data* : MobileAge Project, 2017

[PiIV10] Piller, F.; Ihl, C.; Vossen, A.: A Typology of Customer Co-Creation in the Innovation Process. In: *Social Science Research Network* (2010), S. 26

[SaSt08] Sanders, E. B.-N.; Stappers, P.J.: Co-creation and the new landscapes of design. In: *CoDesign* Bd. 4 (2008), Nr. 1, S. 5–18

[Shak13] Shakespeare, S.: *Shakespeare Review: An independent review of public sector information*. London : Department for Businesses, Innovation & Skills, 2013

[SiJo15] Sieber, R.E.; Johnson, P. A.: Civic open data at a crossroads: Dominant models and current challenges. In: *Government Information Quarterly* (2015)

[Wolt11] Wolter, B.: Aneignung und Verlust des städtischen Raumes im Alter. In: *Eigensinnige Geographien Städtische Raumaneignungen als Ausdruck gesellschaftlicher Teilhabe*. Wiesbaden : Springer, 2011, S. 195–211

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 677

Participatory Requirements Engineering − Using Factorial Surveys to understand Users' Attitude towards Emerging Technologies

Pascal Meier[1], Jan Heinrich Beinke[1] and Frank Teuteberg[1]

Abstract: In this century small villages face the great challenge to ensure the local supply with food and essential goods. Urbanisation and demographic change have caused many village stores and supermarkets to close their subsidiaries in rural areas. Thus, new concepts for village stores are needed. Based on a real situation this study presents a participatory research approach to gather the requirements for a multifunctional, digitalised village store. Together with the population in the reference village we conducted workshops, information events and an experimental vignette methodology (EVM) to gather the requirements of most citizens so that the design corresponds to the needs of the majority of the village population. The results show that the digital transformation of the village store has to be evolutionary to ensure a high users' acceptance. Besides, the use of new digital technologies is essential to contribute for the local long-term supply with food and indispensable goods in rural areas.

Keywords: experimental vignette methodology, EVM, village store, participatory design, user-centred design, requirements engineering

1 Introduction

Urbanisation and demographic change are the greatest challenges rural areas face in this century [Ge13, Un15]. In those areas these phenomena cause the population to decrease and the average age to increase. These changes in the population structure make existing structures for supply and care delivery insufficient. Due to the (very) low demand within a specific area it becomes difficult to make a profit with goods and services as the costs exceed the revenues. In the case of food and essential goods, supply supermarkets close their subsidiaries in some rural areas so that citizens have to drive to the next supermarket or run their own village store. By integrating existing and emerging technologies in the existing business models some of the main cost factors can be reduced so that the profit increases.

To date, the literature focusses more on the use of technology in cities than rural areas [NP11]. The contributions to Smart City research provide a good basis for rural areas but the requirements and problems regarding structural changes are very different.

In this paper, we contribute to the following research question:

[1] Universität Osnabrück, Fachgebiet Unternehmensrechnung und Wirtschaftsinformatik, Katharinenstr. 1, 49076 Osnabrück, {pascal.meier; jan.beinke; frank.teuteberg}@uni-osnabrueck.de

doi:10.18420/in2017_64

RQ: How can the requirements for the integration of (digital) technology into a village store be determined by means of a participatory design process attempting to actively involve all users (stakeholders) to best meet the users' (stakeholders') needs?

We conducted workshops and a survey involving stakeholders (citizens) living in a village of about 600 inhabitants to determine the requirements of the supply of food and other essential goods. As the survey implements the Experimental Vignette Methodology (EVM), vignettes presented the participants with shopping scenarios in which different technologies were used. By letting the participants judge on these vignettes we intended to examine their attitudes towards different shopping situations involving existing and emerging technologies. The vignettes encompassed a set of requirements in combination. In this way, the results of the survey can help create a design for the village store that fulfils the inhabitants' requirements.

By involving the citizens into the research process and making it transparent to the public, we achieved a great awareness in the village so that about 56% of the households participated in our survey. The survey showed that the citizens appreciate the existing structure in the form of a small store and demand technological changes to constitute improvements rather than digital disruptions. The findings provide insights about potential changes that could be transferred to similar rural areas. Moreover, we demonstrate how requirements engineering can be ensured, even though the future user did not know the presented technologies before.

First, we present the challenges of urbanisation and demographic change that rural areas face today. Second, we introduce the existing literature in context of user-centred and participatory design, requirements engineering and EVM. A description of the research approach of this study and how we motivated more than every second household to participate will follow. Afterwards, the survey results will be presented and analysed. We conclude with a summary of this research study and an outlook on how to use the identified technologies to design a digitised village store.

2 Theoretical Background

2.1 Impact of Urbanisation and Demographic Change on Rural Areas

In the latest report of the United Nations on World Urbanisation Prospects, the organisation presents statistics on people living in urban areas in the years 1950, 2014 and a prediction for 2050 [Un15]. While in 1950, 25-75% of the people in most developed countries lived in urban areas, the percentage increased significantly so that more than 75% of the population of most developed countries lived in urban areas in 2014. A great amount of young and highly-educated workers from rural areas were part of the people moving to cities to have better job opportunities and earn more money [Ar03].

At the same time the birth rate declines and the life expectancy rose in some European countries (e.g. Germany). This phenomenon is called demographic change and causes the society to age [Ge13]. In combination with urbanisation this presents a major challenge to rural areas. The care and supply structures are not adapted for this change in society.

In 2014, Trebbin et al. analysed ways to secure the local supplies in German rural areas. They found that most village stores are medium-sized wholesalers that use the logistics network of large retail cooperatives. In this way the medium-sized wholesaler acts as an intermediary and the large retail cooperative can save their image by supplying this area[TFH15]. But Trebbin et al. stated that there is a chance for new organisational forms, too [TFH15]. In this study, we intend to find such new models in cooperation with the inhabitants. We focus on a North-Western Germany village of about 600 inhabitants. The current village store is located in the center of the village. It has been run by the current owner for 13 years. In a few years, the owner will retire and the village faces the problem of securing the local food and goods supply. To tackle this problem, we present a new design for a multifunctional, digitalized village store designed in a participatory process with the inhabitants.

2.2 EVM in the Context of Participatory and User-Centred Design

In 2010, the International Organization for Standardization published the ISO 9241-210:2010 Standard “Human-centred design for interactive systems”, which replaces the ISO 13407:1999 Standard. ISO refers to User-centred design (UCD) as Human-centred design (HCD) and describes the principles of HCD in ISO 9241-210:2010, i.e. how to plan it and the main activities of the HCD process [Is09]. In this process the user requirements take up an important role. The user requirements are specified, solutions are designed and in the end the design is evaluated against the requirements. Consequently, it is essential to specify the user requirements carefully. Linda A. Macaulay describes nine different approaches to requirements engineering: Marketing, Psychology and Sociology, Structured Analysis, Participative Design, Human Factors and Human-Computer Interaction, Soft Systems, Quality and Formal Computer Science [Ma96]. The Human Factors and Human-Computer Interaction approach mixed with the Participative Design approach enables researchers to design future solutions for and with the users. In context of the digitalization process, the integration of future users in the requirements engineering process might be difficult because they might not know which technology is available and how it can be used. Therefore, most of them cannot judge on the possibilities technologies will offer in the future. However, to achieve a UCD, the users have to express their beliefs about their willingness to use certain technologies. UCD contains different methods to satisfy user’s needs by iteratively carrying out task analyses, requirements analyses, tests and evaluations. In contrast to most UCD methods, we do not only focus on the design of an interface, but rather expand the scope and focus on the interaction of the user and the technology system in a specified context. Eason identified and described three different types of users as followed [Ea05]:

1. *Primary Users,* who will actually/directly use the artefact.
2. *Secondary Users,* who will use the artefact occasionally.
3. *Tertiary Users,* who will be affected by the use of the artefact.

Applied to our case, primary users are regular customers; secondary users are occasional customers and tertiary users are a third party that will be affected indirectly (e.g. children whose groceries are bought by their parents). Due to these different kinds of users, it is necessary to ask as many people as possible to record and understand the needs and requirements of every kind of user. Abras et al. note that the way in which possible users participate can vary widely – from relatively slight (e.g. consultation) to very intensive participations [AMP04]. This must be considered by the design because the village store can be described as a social-technical system, consisting of social components (people-related) and technological components (e.g. self-checkout systems, online shop). Interdependencies between technology, people and context have to be considered to prevent errors or at least diminish their effects. Thus, the reality cannot be decomposed in a social and a technical subsystem [RBC14] but must be considered as a whole system. For the requirements engineering this means that the users have to be presented with a description of the whole system. This can be achieved by scenario-based methods. Since 1974, when Rossi et al. introduced the factorial survey to study human judgements [Ro74], the method has been widely used to better understand people's beliefs about social situations[CC04, LS13]. In a factorial survey, a respondent has to judge on a situation which is presented by a vignette. Each vignette consists of the same factors which have different levels and may influence the decision of the respondent. By analysing the respondents' judgements, the influences of the different factors can be examined. Factorial surveys are primarily used in sociology, but are also used in psychology [Hi84], criminology [JC98], healthcare [SK04], gerontology [Ba83] and many other fields.

As the use of information technology becomes part of our everyday life, technology will become essential for future social situations. For this reason, the factorial survey constitutes a convenient methodology to understand the user's attitude towards different technologies. Within the research discipline of Information Systems, factorial surveys have not found a lot of applications yet. Eargle et al. used the factorial survey to investigate influence of moral intensity and impulsivity on accountability of intentions to violate the access policy [EVL13]. Vance et al. evaluated the effect of user interface design artefacts increasing the accountability and the influence of increased accountability on the intention to violate access policies [VLE15]. Furthermore, other research examined the influence of perceived organisational injustice [WWJ11] and other characteristics on intentions of insider computer abuse [Wa12]. Lee et al. use the factorial survey to measure the effect of monitoring mechanisms on Bring Your Own Device adoption [LCW13]. Most recently, publications of Johnsten et al. and Moshki et al. show the topicality of factorial surveys in Information Systems research [Jo16, MB16]. All these publications try to measure people's intentions and judgments. We were unable to identify a study that applied the factorial survey for requirements engineering. Most of the requirements engineering processes focus on identifying

requirements separately. By using the factorial survey, a combination of requirements can be presented to the respondents and they can judge on the whole situation.

3 Research Approach

Based on the results from section 2 we designed a research approach which uses workshops, information events and a survey to best integrate the inhabitants. Fig. 1 summarizes the research approach with the different steps, a description of the participants, the topic and the achieved results to assist the comprehensibility.

To achieve a participatory design, it is necessary to understand the preconditions and to identify the stakeholders. In a first workshop, the participants described their thoughts on how the village store can be designed in the future. Additionally, the participants got a feeling for the actual situation which was presented by the village's major. During this workshop, we experienced that most of the people living in the village do not know emerging (digital) technologies and their application. Therefore, the factorial survey provides the possibility to explain the available technologies in the vignettes. Hereby, the citizens have to state in the design process of the digitalisation of the store where they will go shopping in the near future. Based on the decision to conduct a factorial survey, we began to review the literature and technologies that are currently available or introduced by the producer, to get a fundamental understanding of the current advancements in the context of emerging technologies for supermarkets. This review was complemented by an analysis of important factors for shopping in a village store.

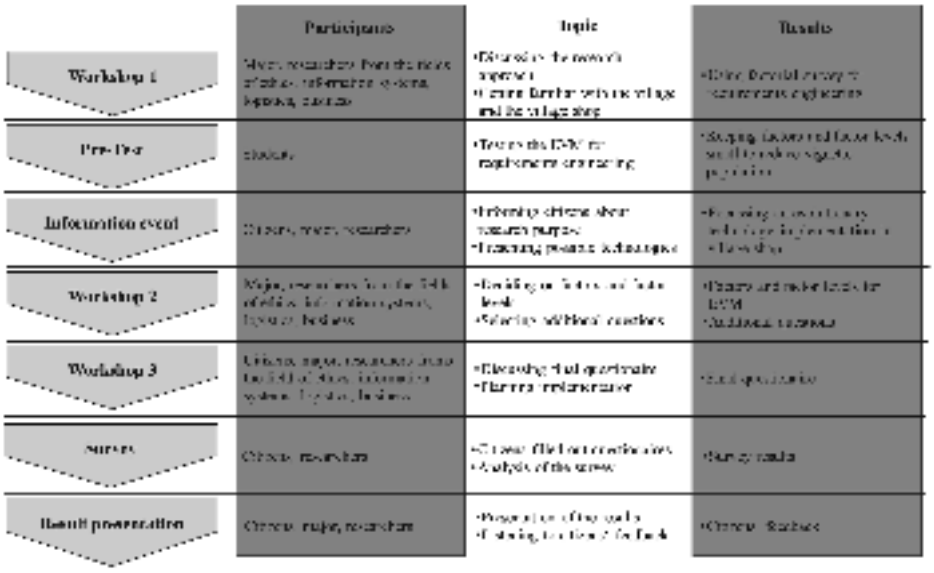


Fig. 1: research approach

To gain first experience with the factorial survey, we used the collected data and conducted a pre-test with students. We used a *within-subjects design,* which presented all vignettes to each respondent [AS10]. The pre-test helped us to gain first experience with factorial surveys and their analysis and to see whether the concept of the survey was valid. The results showed that a lot of participants cancelled the survey and many respondents mentioned that they got bored as the survey took too much time. Consequently, the next survey has to (1) contain fewer vignettes and (2) not all vignettes should be presented after another. Rather, the vignettes should be split up in multiple parts. In an information event we presented the research approach as well as some of the identified products to the citizens. We received the feedback that some of the presented technologies were too futuristic (e.g. personnel free supermarket opened with a cell phone and monitored by cameras) and that the citizens were not willing to use theme in the near future. Based on the collected data and feedback, we conducted a second workshop with experts from the field of logistics, information systems and business as well as representatives from the region of interest. After a short introduction to the methodology of EVM, the participants discussed the factors as well as the factor levels for the study. Some of the identified products and concepts were described as unrealistic for a small supermarket in a village (e.g. indoor navigation). The workshop participants agreed on excluding technologies which the citizens described as too futuristic and focusing on technologies which continually evolve rather than disrupt. The resulting factors and factor levels are illustrated in Tab. 1. All factors represent influences on the customer's shopping. The factor *shipment* describes whether the goods from the shop will be shipped to the customer's home or whether the customer has to take the goods home on his own. *Contact to personnel* adds any contact to personnel in the vignette. The factor *goods registration* describes how the customer registers the goods he wants to buy.

Identifier	Factors	Factor Levels
A	Shipment	Yes No
B	Contact to personnel	Yes No
C	Goods registration	Conventional cash register Self-checkout Smart Cart Online

Tab. 1: Factors and factor levels for the factorial survey

	$C = c_0$		$C = c_1$		$C = c_2$		$C = c_3$	
	$B = b_0$	$B = b_1$	$B = b_0$	$B = b_1$	$B = b_0$	$B = b_1$	$B = b_0$	$B = b_1$
Set I								
$A = a_0$			$a_0b_0c_1$					$a_0b_1c_3$
$A = a_1$		$a_1b_1c_0$			$a_1b_0c_2$			
Set II								
$A = a_0$		$a_0b_1c_0$			$a_0b_0c_2$			
$A = a_1$				$a_1b_1c_1$			$a_1b_0c_3$	
Set III								
$A = a_0$				$a_0b_1c_1$			$a_0b_0c_3$	
$A = a_1$	$a_1b_0c_0$					$a_1b_1c_2$		
Set IV								
$A = a_0$	$a_0b_0c_0$					$a_0b_1c_2$		
$A = a_1$			$a_1b_0c_1$					$a_1b_1c_3$

Tab. 2: Confounded factorial 2 x 2 x 4 vignette design with four sets

Consequently, the vignette population results in 2 x 2 x 4 = 16 different vignettes. Due to the experience gained in the pre-test, the workshop participants decided on using a *mixed design* which divides the total vignette population into four subsets of four vignettes each which were given to a group of respondents [AS10]. We ensured to represent every factor level equally often in each subset. The allocation is shown in Tab. 2.

By this design, we made sure that three higher-order interaction effects were confounded with the set effect which describes the differences between the sets. The main effects were not confounded with the three higher order interaction effects [AS10].

The acquired insights were the inputs for a third workshop. Its purpose was to design the final questionnaire. The questionnaire[2] was complemented by additional questions which focussed on the citizens' current buying behaviour, their criticisms of the current village store, as well as their wishes for a future store. This time, more representatives from the village were present to verify that the questionnaire was comprehensive. Furthermore, the representatives were introduced to the conduction of the study so that they could help other citizens when questions arose. Having contact persons from the village appeared to be helpful because of the low inhabitation level to contact them. All participants agreed that it is beneficial to write the contact persons' addresses on the first page so that every respondent knew who to contact when they had a question. Additionally, the workshop consented to give everybody the chance to participate and keep the hurdles for participation as low as possible. Therefore, every household of the village (244 in total) received a questionnaire with the daily mail and had the possibility to send it by mail or throw it in ballot box which was placed at the local village store. The survey was completely paper-based so that the participants did not require any IT knowledge. The

[2] Our questionnaire and vignettes (factorial survey) will be provided to interested readers.

respondents had two weeks to fill out the questionnaire and send it back. Afterwards, the questionnaires were digitalised to prepare them for analysis.

4 Analysis of the Results

4.1 Survey Results

For the analysis we considered all returned surveys. As mentioned, we handed 244 questionnaires over to the different households. We received 138 responses, which corresponded to a response rate of ~56%. This high response rate might be ascribed to the citizens' large awareness of the survey due to the information events and citizen involvement. 70% of the respondents were female and 28% male. On average, the respondents shopped for 2.97 people including themselves. So, the higher proportion of female participants might be due to the fact that mothers are shopping most of the times for the family and filled out the questionnaire for the whole family. The participants' age ranged from 21 to 90 years. Additionally, we compared the age distribution in our survey with the official reports from the village and in great part it coincided. A high amount of the respondents 75% were working. Only 25.4% worked in the village. Further, we asked whether the participants needed help with shopping. 5.8% reported that they needed help and most of them mentioned that the goods were too heavy so that they needed help with carrying and transporting. One individual stated that she needed help finding goods in the store and another individual had problems with packing. Due to the digitisation intentions, we asked the participants what electronic devices they used and whether they had internet access. 92% stated that they owned a mobile phone; about 80% of them had access to the internet. Besides the mobile phone, 75% of the participants owned a computer, 23% a tablet and 18% a Smart-TV.

In addition to the questions regarding the person, we asked for improvements of and attitude towards the current village store. By now, the current village store was open from 6:30 a.m. to 6 p.m. with a two hour break six days a week. More than half of the respondents stated that they shop in the village store more than once a week. The average purchase value amounted to 5-30 € for a great majority of 77.8%. Another 13% pay between 30€ and 50€. We asked the participants where they bought certain types of goods to get an overview of whether they bought them in the village store, a supermarket outside the village, online or somewhere else. The results are presented in Tab. 3. For most of their goods, the participants visited a supermarket. The village store was preferred over the supermarket in *fresh baked goods* and *beverages*. Online shopping was not popular in the village. Just up to three people stated that they bought some of the mentioned goods online. Paying attention to the feedback of the first information event, we asked for additional services offered in at the village store. The respondents had to evaluate different services within a range from 1 (very unimportant) to 10 (very important): post office (avg: 7.23), café (avg: 6.23), repair service (avg: 4.76), laundry

shop (avg: 4.29) and hairdresser (avg: 4.16). These values show that offering a post office or a café at the village store might be a welcomed supplement.

		Shops			
		Village store	Supermarket	Online	Others
Type of goods	fruits & vegetables	27.5%	75.4%	0%	9.4%
	other groceries	63%	65.2%	0.7%	0.7%
	fresh baked goods	82.6%	21.7%	0%	8.7%
	beverages	64.5%	50%	0.7%	2.9%
	detergents	22.4%	73.9%	0.7%	5.1%
	body care products	10.9%	72.5%	1.4%	13%
	haberdashery	7.2%	49.3%	2.2%	9.4%
	magazines	38.4%%	37.7%	0.7%	5.1%

Tab. 3: Shops where certain types of goods are bought

In general, the results show that the citizens appreciate the current village store and at the same time realize the need for technological change. This corresponds with the results we got from the vignettes. Through the determination of our vignette subsets, all vignettes were systematically assigned to subsets. By deleting questionnaires with incomplete vignette answers, we cleaned up our collected data. We analysed our vignette data by using a linear regression model. The model is represented in Tab. 4 and lists the coefficients with standard errors (*** indicates high significance) shows goods registration - especially self-checkout - and contact to personnel have the biggest impact on the participants' ratings, followed up by shipment. Goods registration and contact to personnel are highly significant with a p-value < 0.001, whereas shipment is only slightly significant with a p-value of 0.86.

The use of a self-checkout system in a vignette led to a decrease by 2.55 points on the 10-point scale, compared to a decrease by 1.61 points for smart carts and 1.86 for online good registration. Moreover, the estimated model shows an increase of 2.00 points if the customer has contact to personnel. Furthermore, shipment reduced the agreement to the proposed concept by 0.52 points. At first glance, this might seem unusual, but in context with our results from the workshops and the open text fields in our survey, it is well comprehensible. The village store is not solely used for the shopping purpose, but functions as a "communication center" as well.

In addition to the linear regression model, we examined the answers for each factor. We used boxplots to obtain more insights in which way the answers are distributed [SC02]. Furthermore, we visualized the evaluation of the vignettes, where each answer is represented by a point. It is noticeable that the span width for each factor level ranges from 1 (minimum) to 10 (maximum). Especially the vignettes without the conventional cash register were evaluated significantly worse. Nevertheless, the data distribution shows evidence that additional *goods registration* options might be useful und should be

considered. Some of the proposed technologies used in the vignettes are not very easy to use if people have little knowledge on using technology. So, we asked the participants

	Conventional shopping	
	Coef.	Standard error
Constant	5.53	(.37)***
Shipment		
No (ref.)		
Yes	-.52	(.30)
Contact to personnel		
No (ref.)		
Yes	2.00	(.30)***
Goods registration		
Conventional cash register (ref.)		
Self-checkout	-2.55	(.43)***
Smart Cart	-1.62	(.43)***
Online	-1.87	(.43)***

Tab. 4: Linear regression model

whether they were interested in trainings focusing on how to use the introduced technology. The majority of 58.93% stated that they did not need special training. A reason for this might be that the younger participants were already familiar with using technology. The remaining 41.07% indicated interest in special trainings to use the new technology. Therefore, special training should be offered if any technology will be used in the village store.

One essential cost factor for running a village store is the salary for people working in the store. As we experienced in the vignettes, *contact to personnel* is very important for the customers. To reduce the costs for personnel, we asked the participants whether they can imagine working voluntarily. 61.5% stated that they are not willing to work voluntarily. This may be due to their jobs or that they feel too old. Working 1-5 hours a week is conceivable for 33.6%. Some respondents (5.9%) stated that they are willing to spend more than 5 hours working in the village store voluntarily. Two persons said that they could work 10 or more hours in the store. This willingness to volunteer is a reason to consider new business models where it is possible to leverage this potential. Additionally, we asked which kind of work they would volunteer for. Most people are willing to shelve goods (28%), deliver orders (16%), sell goods (16%) and clean the store (7%). Many people (47%), especially those who are not willing to volunteer, could imagine buying cooperative shares.

4.2 Design for the Village Store in the Example Village

The high ratings on the conventional scenario in the survey and the feedback from the information event show that the people appreciate the existing structures of the village store. Based on the results for the dimension *goods registration,* we experienced that the participants can imagine using technologies such as a *Smart Cart* or an *online shop*. The high standard deviation for the different types of goods registration seems to indicate different opinions on this topic. Therefore, the technologies have to be advantageous instead of disruptive. Additionally, the technologies should constitute a supplement to the existing structure. So, the people should be able to order online, shop with the Smart Cart or go to the village store as they are used to. Offering all these possibilities gives the people the opportunity to test and get used to them. Thus, technologies seen as too futuristic in the first place could be implemented in the next phase.

Besides using technology for goods registration, we see great potential in using it to support the communication and organization of volunteering. The great willingness to voluntarily work in the village store can be used efficiently by distributing the available tasks over the volunteers. This can be realized by a communication website because at least 80% have access to the internet and for those who do not, access can be provided in the village store. On this website people could see open tasks and undertake as many as they are willing to. By leveraging the willingness to volunteer additional expenses for full- or part-time employees in the village store can be avoided.

We observed that people prefer the supermarket over the village store in the goods *fruits/vegetables*, *detergents*, *body care products* and *haberdashery*. A future study should analyse the purchased goods and ask the people which products they prefer to better understand the reasons why they are buying some goods in the supermarket instead of the village store. By better understanding the buying behaviour, the assortment of the village store can be fitted to the people's' needs. In this way, the narrow shop area can be used more efficiently. Furthermore, the right number of perishables can be in stock so that fewer goods must be thrown away.

The questions regarding additional services provided evidence that the village store might be a good location for providing additional services. Many people stated that they would like a post office or a café. By adding services to the village store, this place becomes a central contact point where people can not only buy their groceries but also use different services (e.g. repair service, laundry shop). This would be a great advantage especially for people who are not very mobile and can go to the village store to get different things done.

All these small changes help to cut some costs which can be avoided by using technology and can help to attract more people to go shopping in the village store than the supermarkets.

5 Conclusions

Urbanization and demographical change are presenting major challenges for the infrastructure - not only in cities but especially in rural areas, which are affected heavily. The supply with food and everyday goods is of paramount importance to remain an attractive place of residence. New technologies can be useful in securing the supply, but must be carefully selected to not overstrain the users. Otherwise, (especially older) citizens can be overstrained and might refuse to use the village store completely.

Based on our research, we recommend the use of technological features as additional offers, not as replacements. With respect to HCD, we decided to offer different participation opportunities, so everyone in the village has the chance to participate. The primary goal of this paper is to determine the requirements for a village store, while aligning the technological possibilities with the needs of the citizens. The use of the factorial survey helped to present a set of requirements to the respondents, in contrast to ordinary surveys. By using the factorial survey, a combination of requirements could be presented to the respondents and they could judge on the whole situation. Integrating the people in the research approach turned out to be a great advantage. Even though the population was very sceptical about the research the ongoing dialogue and inclusion in the research process helped to motivate a majority to participate in workshops and surveys so that the result matches the needs of the population.

Due to different preconditions these results cannot easily be transferred to other villages. But the research approach can be adopted anywhere else to design a multifunctional, digitalised village store in collaboration with the citizens. During the public presentation of the survey results, we experienced great approval and the citizens signalled willingness to participate in the future implementation of the village store.

As this research focussed the requirements engineering for a multifunctional, digitalised village store, future research needs to determine the participative implementation and evaluation of the village store. Additionally, the connection with other services such as laundry and a café needs to be determined, so that the village store becomes a social hub where people meet each other and spend their time. This will promote the village store and it will be more likely that it makes a profit.

References

[AMP04] Abras, C.; Maloney-Krichmar, D.; Preece, J.: User-centered design. In: Bainbridge, W. Encyclopedia of Human-Computer Interaction 37 (2004) 4, pp. 445–456.

[Ar03] Artz, G.: Rural area brain drain: Is it a reality?, Extension and Outreach Publications, pp. 11–15, 2003.

[AS10] Atzmüller, C.; Steiner, P.: Experimental vignette studies in survey research. In: Methodology (2010).

[Ba83] Baker, P.: Ageism, sex, and age: a factorial survey approach. In: Canadian Journal on Aging / La Revue 2 (1983) 4, pp. 177–184.

[CC04] Caro, F.; Chen, Y.: Implications of Changing Social Norms for Social Security Benefits: Results of Pilot Research. (2004).

[Ea05] Eason, K.: Information technology and organisational change. 2005.

[EVL13] Eargle, D.; Vance, A.; Lowry, P.: How Moral Intensity and Impulsivity Moderate the Influence of Accountability on Access Policy Violations in Information Systems. Seventh Workshop on Information Security and Privacy 2013 (WISP 2013) at the 2013 International Conference on Information Systems (ICIS 2013), 2013.

[Ge13] German Agency for Civic Education: Demographic Change and Migration in Europe, no. 24. 2013.

[Hi84] Hickman, D.: Judgments of the short-term and long-term effects of conflict episodes on relationship cohesion. 1984.

[Is09] ISO: 9241-210: 2010. Ergonomics of human system interaction-Part 210: Human-centred design for interactive systems. Switzerland, 2009.

[JC98] Jacoby, J.; Cullen, F.: The structure of punishment norms: Applying the Rossi-Berk model. In: The Journal of Criminal Law and Criminology 89 (1998) 1, pp. 245–312.

[Jo16] Johnston, A. C.; Warkentin, M.; McBride, M.; Carter, L.: Dispositional and situational factors: influences on information security policy violations. In: European Journal of Information Systems 25 (May. 2016) 3, pp. 231–251.

[LCW13] Lee, J.; Crossler, R.; Warkentin, M.: Implications of monitoring mechanisms on bring your own device (BYOD) adoption. Thirty Fourth International Conference on Information Systems, 2013.

[LS13] Lukens, J.; Solomon, P.: Shared Decision Making for Clients With Mental Illness A Randomized Factorial Survey. In: Research on Social Work 23 (2013) 6, pp. 694–705.

[Ma96] Macaulay, L. A.: Requirements engineering. Springer, 1996.

[MB16] Moshki, H.; Barki, H.: Coping with Information Privacy Breaches: An Exploratory Framework. Thirty Seventh International Conference on Information Systems, 2016.

[NP11] Nam, T.; Pardo, T. a.: Conceptualizing smart city with dimensions of technology, people, and institutions. Proceedings of the 12th Annual International Digital Government Research Conference on Digital Government Innovation in Challenging Times - dg.o ’11, 2011, pp. 282–291.

[RBC14] Ritter, F.; Baxter, G.; Churchill, E.: User-centered systems design: a brief history. Foundations for designing user-centered systems. Springer, London, 2014, pp. 33–54.

[Ro74] Rossi, P.; Sampson, W.; Bose, C.; Jasso, G.: Measuring household social standing. In: Social Science Research 3 (1974) 3, pp. 169–190.

[SC02] Swinscow, T.; Campbell, M.: Statistics at square one. Bmj, London, 2002.

[SK04] Schwappach, D.; Koeck, C.: What makes an error unacceptable? A factorial survey on the disclosure of medical errors. In: Journal for Quality in Health Care 16 (2004) 4, pp. 317–326.

[TFH15] Trebbin, A.; Franz, M.; Hassler, M.: Securing Local Supply in Rural Areas: The Role of Wholesale Cooperations in Central Hesse, Germany. In (Dannenberg, P.; Kulke, E. Hrsg.): Economic Development in Rural Areas: Functional and Multifunctional Approaches. Ashgate Publishing, Farnham, 2015, pp. 131–145.

[Un15] United Nations: World Urbanization Prospects. New York, 2015.

[VLE15] Vance, A.; Lowry, P.; Eggett, D.: Increasing Accountability Through User-Interface Design Artifacts: A New Approach to Addressing the Problem of Access-Policy Violations. In: MIS Quarterly 39 (2015) 2, pp. 345–366.

[Wa12] Warkentin, M.; McBride, M.; Carter, L.; Johnston, A.: The role of individual characteristics on insider abuse intentions. Proceedings of the Eighteenth Americas Conference on Information Systems, 2012.

[WWJ11] Warkentin, M.; Willison, R.; Johnston, A.: The role of perceptions of organizational injustice and techniques of neutralization in forming computer abuse intentions. Proceedings of the Seventeenth Americas Conference on Information Systems, 2011.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 691

Identification of Medically Relevant Application Scenarios for A Wearable Motion Analysis System

Gabriele Bleser[1], Corinna A. Christmann[1], Bertram Taetz[1], Daniel Steffen[1], Alexandra Hoffmann[1] and Markus Miezal[1]

Abstract: This abstract presents an iterative and multi-perspective context of use analysis approach for identifying medically relevant application scenarios and required features for a motion analysis system based on inertial motion capture technology. Different iterations of one underlying process are described and discussed. The focus is on how all participating research disciplines as well as potential users in terms of healthcare providers can be involved in this process on equal footing.

Keywords: inertial motion capture, locomotion analysis, context of use analysis, observation, contextual inquiry, qualitative interview

1 Introduction

The overall goal of the junior research group wearHEALTH – a team of computer scientists, mathematicians, psychologists, cognitive scientists, movement scientists and control engineers – is the user-centered design, development, and evaluation of personalized health systems based on mobile and wearable technologies. In this context, one primary aim of the group is to develop a motion analysis system based on lightweight body-worn inertial measurement units (IMUs) in order to support healthcare providers and patients, especially in the process of rehabilitation. From a medical point of view, given the rapid increase in diseases in the course of the demographic change, the research is motivated through an increasing need for objective, lightweight, affordable, easy-to-use and location-independent (measurement, feedback) tools to support and optimize assessments, diagnosis, and therapies [Ch16, MKH16]. From a technical point of view, inertial motion capture, in combination with suitable user interfaces, poses a way to meet these demands (see Fig. 1) [Bl17]. While several challenges related to this technology are being tackled by the research team [Bl17], a multi-perspective context of use analysis is an essential step to drive a user-centered development process. This abstract describes and discusses the approach of the junior research group wearHEALTH to such an analysis.

[1] University of Kaiserslautern, Junior research group wearHEALTH, Gottlieb-Daimler-Str. 48, 67663 Kaiserslautern, Germany, lastname@cs.uni-kl.de

doi:10.18420/in2017_65

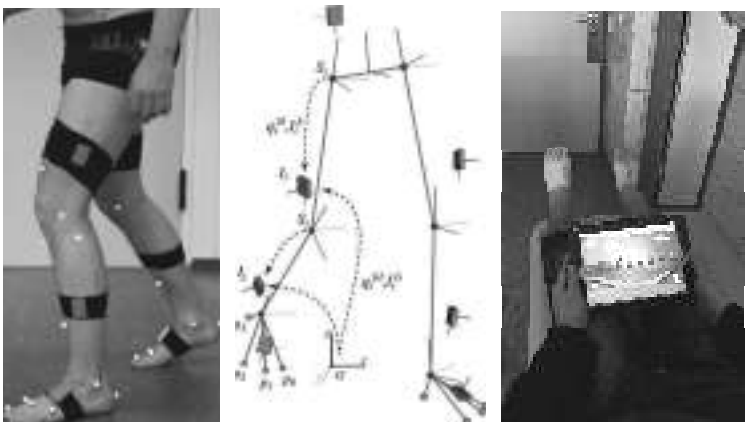


Fig. 1: Left: Hardware setup with seven IMUs for ambulatory tracking of the lower body, in comparison to an established marker protocol with 32 skin markers used by a gold standard laboratory based optical system. The figure has been taken from [Bl17]. Middle: Biomechanical model used by the tracking algorithm. The figure has been taken from [MTB17]. Right: Mobile exergame to motivate movement exercises for thrombosis prophylaxis controlled by two IMUs on the feet [SCB17].

2 Approach

The major goal of the conducted context of use analysis was to identify medically relevant application scenarios in terms of main users, patient groups/medical indications, locations/contexts of usage, parameters to be measured, system functionalities, and boundary conditions. For this, an iterative and multi-perspective approach involving all participating research disciplines as well as potential users in terms of healthcare providers (e.g. physicians, physiotherapists, orthopaedic technicians), who were also considered as experts for their respective professional fields, was developed. Note that patients, who will have to wear the system, will be more actively involved when progressing to the next steps of the development process, in particular when it comes to developing user interfaces. In the following, four iterations of the context of use analysis are exemplified, before the underlying process is described.

In a *first* step, the following two approaches were chosen and conducted in an outpatient rehabilitation center: (1) a focus group, where potentials/limitations of the technology and research objectives presented by the research team and statements concerning medically relevant application scenarios contributed by senior physicians and therapists from the center were initially discussed; (2) a contextual inquiry, where the research team attended two therapy sessions with the possibility to ask questions to both the therapist and the patient. The *second* step consisted of broad-based contextual inquiries during single and group therapy sessions combined with interviews with physicians, physiotherapists, sports scientists, nutritionists and psychologists at the same center. These were mainly conducted

by a participating cognitive scientist. The information gathered based on a jointly developed protocol template (medical indications, therapeutic exercises, feedback, etc.) were continuously evaluated by the research team through extraction of relevant system goals and the results were discussed with senior physicians from the center in order to validate medical relevance and feasibility of implementation. The result from this communication was the joint decision to focus on a system to support gait analysis and gait rehabilitation. This was considered as particularly relevant from the application, research and technology perspectives; e.g. due to its high relevance for different patient groups/medical indications (such as osteoarthritis, endoprosthesis), its potential benefits for both healthcare providers and patients, and mobile motion analysis being a key requirement for such a system. The *third* step then consisted of focused observations of group gait training sessions with a logging of patient groups, procedures and exercises, conducted by a participating computer scientist who will be involved in the user interface development. Based on this, a use case description "Smart training clothes for patients with lower body impairments" was developed together with two orthopedic senior physicians from the rehabilitation center. These results were then integrated by the whole research team with information from (a) specialist literature on gait [SB13, Lu15, Gö15], (b) a systematic literature review on exergames for physical activity promotion, and (c) the technical implementation perspective. Based on these results it was decided to use expert interviews for further substantiating system goals and collecting technical requirements for a mobile gait analysis and gait rehabilitation system. Hence, in a *fourth* step, the research team jointly prepared an interview guideline based on [Po07]. The detailed procedure and results are described in [B117]. The gathered information was discussed with the whole research team as well as with interested medical experts. The result was the joint decision to focus on the application scenario "multi-modal treatment of the locomotor system"[2], which is particularly relevant for painful illnesses (e.g. osteoarthritis and low back pain), and to develop mobile systems (mobile motion analysis to support interactive assessments, mobile exergames to motivate self-training (cf. Fig. 1), mobile apps to train self-monitoring, stress management and relaxation techniques) to support this scenario. Moreover, cooperation was established with the contributing medical experts.

Each of the above described iterations of the context of use analysis followed the process illustrated in Fig. 2 in order to support integration of the perspectives of all participating research disciplines as well as consulted healthcare providers.

[2] cf. http://www.icd-code.de/ops/code/8-977.html

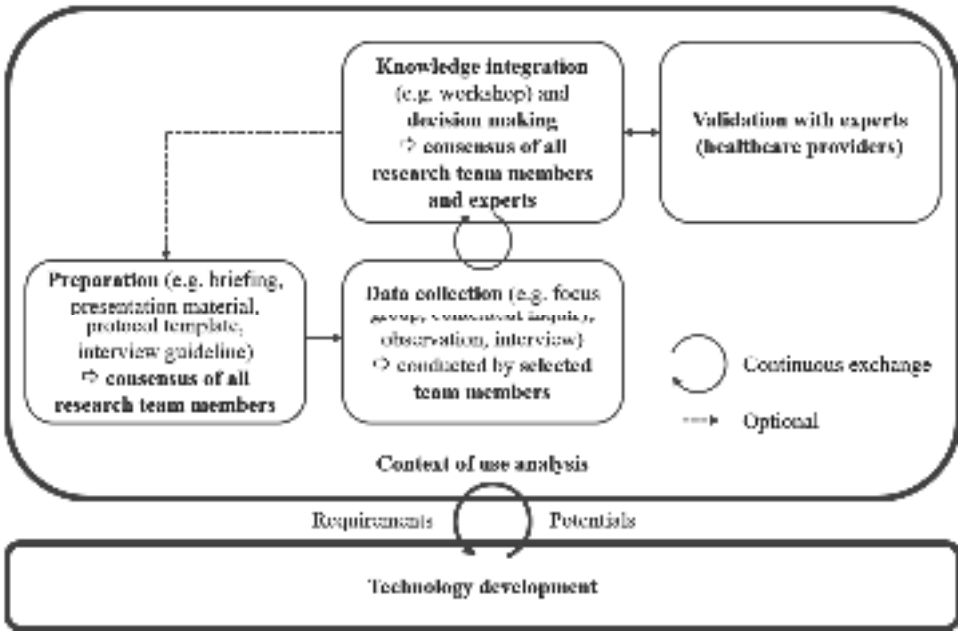


Fig. 2: Iterative and multi-perspective context of use analysis.

3 Discussion

The iterative and multi-perspective approach to the context of use analysis allowed the team to gradually substantiate the considered application scenarios in consensus with all participating research disciplines and the involved healthcare providers/experts. This process resulted in an application scenario (multi-modal treatments), which extends the initial physiological perspective (focused on movement) with the psychological perspective (education, self-monitoring, stress management and relaxation techniques). It also resulted in the required application-oriented focus of the technical developments of the motion capture system. Moreover, the common approach contributed to a better understanding of the perspectives, methods, goals and interests of the different research disciplines. Also, different ways of thinking were identified in the research group, e.g. system-/method-oriented (Which innovative features/solutions can the system/method provide?) vs. application-/study-oriented (Which user should have which benefit and through which study design can this be validated?), and these were synthesized, leading to the insight that only through a cooperation of the different perspectives, innovative and useful systems can be developed. Furthermore, the personal interviews lead to the establishment of new collaborations, they provided a pool of ideas for future projects and they became an act of transdisciplinary science communication.

One critical point in the above described approach is to maximize the amount of information being picked up during the (qualitative) data collection and being transferred to the whole research team. Interdisciplinary preparation and continuous knowledge integration have been used to reduce information loss. Another challenge stemmed from the limited availability of expert users, which requires their efficient integration into the process.

Acknowledgements

We thank Dr. med. Maren Van de Perck from the Outpatient Rehabilitation Center in Kaiserslautern (ZANR), Dr. med. Markus Muhm from the Westpfalz-Klinikum GmbH in Kaiserslautern and Dr. med. Katja Regenspurger from the University Hospital Halle (Saale) for supporting our work. The junior research group wearHEALTH is funded by the Federal Ministry of Education and Research (16SV7115).

References

[Bl17] Bleser, G.; Taetz, B.; Miezal, M; Christmann, C. A.; Steffen, D.; Regenspurger, K.: Development of an Inertial Motion Capture System for Clinical Application, Journal of Interactive Media (in press).

[Ch16] Chen, S.; Lach, J.; Lo, B.; Yang, G. Z.: Towards Pervasive Gait Analysis for Medicine with Wearable Sensors: A Systematic Review for Clinicians and Medical Researchers. IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics, 2016, 20, 1521 – 1537.

[Gö15] Götz-Neumann, K.: Gehen verstehen: Ganganalyse in der Physiotherapie. Georg Thieme Verlag, 2015.

[Lu12] Ludwig, O.: Ganganalyse in der Praxis: Anwendung in Prävention, Therapie und Versorgung. Maurer, 2012.

[MKH16] Maetzler, W.; Klucken, J.; Horne, M.: A clinical view on the development of technology-based tools in managing Parkinson's disease. Movement Disorders, Wiley Online Library, 2016.

[MTB17] Miezal, M., Taetz, B.; Bleser, G.: Real-time inertial lower body kinematics and ground contact estimation at anatomical foot points for agile human locomotion. International Conference on Robotics and Automation, 2017, May, Singapore.

[Po07] Pohl, K.: Requirements Engineering. Grundlagen, Prinzipien, Techniken. Dpunkt, 2007.

[SB13] Suppé, B.; Bongartz, M.: FBL Klein-Vogelbach Functional Kinetics praktisch angewandt: Gehen- Analyse und Intervention. Springer-Verlag, 2013.

[SCB17] Steffen, D.; Christmann, C.A.; Bleser, G.: jumpBALL - Ein mobiles Exergame für die Thromboseprophylaxe. Mensch und Computer, 2017, September, Regensburg, Germany (accepted).

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 697

Visualisierung von Datensicherheitsaspekten in Healthmonitoring-Apps

Laura van de Sand und Aysegül Dogangün[1]

Abstract: In diesem Beitrag wird die Konzeption, Realisierung und Validierung einer visuellen Umsetzung von Datensicherheitsaspekten in Healthmonitoring-Apps skizziert. Eingangs wird die Notwendigkeit solcher Visualisierung motiviert; anschließend wird der aktuellen Stand der Forschung in diesem Bereich kurz erläutert; schließlich wird die Konzeption der Datenschutzvideos dargestellt.

Keywords: Healthmonitoring-Apps; Datenschutz; Visualisierung; Awareness; Informierte Einwilligung

1 Einleitung

Datenschutz und -sicherheit spielen bei Healthmonitoring-Apps eine zentrale Rolle. Diese benötigen für die Erstellung adäquater, adaptiver, und wissenschaftlich fundierter Nutzermodelle so viele Daten wie möglich, um präzise und zuverlässige Aussagen treffen zu können. Dies bedeutet aber gleichzeitig, dass sowohl besonders hohe technische als auch ethische Standards an die Sammlung, Auswertung, Speicherung, und Verarbeitung von sensiblen Informationen angelegt werden müssen. Diese technischen Hintergründe müssen von den Anwendern solcher Apps jedoch bekannt und verstanden worden sein, damit eine informierte Einwilligung gegeben werden kann und die Konsequenzen der Datenpreisgabe eingeschätzt werden können. Da ältere Menschen als Nutzer solcher Systeme nicht zu den Digital Natives zählen, gestaltet sich dies gerade bei dieser Zielgruppe als besondere Herausforderung.

Eine allgemeinverständliche Visualisierung von Datensicherheitsaspekten in Healthmonitoring-Apps soll daher den Wissensstand der Nutzer auf ein fachlich angemessenes Level bringen und ihnen die Kompetenz verleihen, die Chancen und Risiken der Dateneingabe objektiv abzuwägen. Dazu werden kurze Erklärungsvideos erstellt, die insbesondere an die Zielgruppe von Personen, die 50 Jahre oder älter sind, gerichtet werden sollen.

Zunächst werden die Themen und die Art der Videos mittels Vorabuntersuchung festgelegt. Anschließend werden die Videos den Ergebnissen entsprechend und auf Basis von aktuellen Datensicherheitsstandards erstellt. Diese Videos erklären insbesondere die in der App benötigten Datenelemente, des Weiteren werden aber auch allgemeine

[1] Universität Duisburg-Essen, Abteilung Informatik und Angew. Kognitionswissenschaft, Kompetenzzentrum Personal Analytics, Lotharstr. 65 (Gebäude LE), D-47057 Duisburg

doi:10.18420/in2017_66

Datensicherheitsaspekte erläutert, die zu Unsicherheiten im Umgang mit Healthmonitoring-Apps führen können. Abschließend werden die Videos auf ihre Akzeptanz, die Verständlichkeit und einen möglichen Kompetenzerwerb evaluiert. Im Folgenden wird tentativ der Stand der Forschung analysiert, das angestrebte Konzept und seine Realisierung sowie die geplante Evaluation erläutert.

2 Stand der Forschung

„Die größte Schwachstelle im Bereich der Computersicherheit ist der Nutzer" postulierten schon [Ho12] und stellten fest, dass obwohl die Zahl von Cyberangriffen auf Unternehmen und Privatpersonen stetig steigt, sich letztere jedoch trotzdem häufig nicht angemessen schützen. Bereits im Jahr 2004 extrahierten Aytes und Connolly [Ay04] fünf Faktoren, die Nutzer hinsichtlich ihres IT-Sicherheitsverhaltens beeinflussen. Diese umfassen die „Awareness of what constitutes safe practices", „Awareness of possible negative consequences of not following safe practices", „Awareness of availability of resources to support safe practices", „Probability of negative consequences" und zuletzt „Cost of the consequences". Diese Faktoren stellen die grundlegende Struktur für die Erklärungsvideos dar.

Bislang lag der Fokus, um Vorhersagen über IT-Sicherheitserhalten zu treffen, auf kognitiven Verhaltensmodellen, die Theorien aus der Psychologie, Soziologie und Kriminologie verbindet [Le13]. Diese Metaanalyse zeigt, dass die am häufigsten verwendeten Modelle die „Theory of Reasoned Action (TRA)" und die „Theorie of Planned Behauvior (TBP)" sind, jedoch meist allein mittels Fragebögen und nicht mittels Realsituationen oder Simulationen evaluiert wurden. Die Modelle zeigen auf, wodurch spontanes bzw. geplantes Verhalten beeinflusst wird und nennen die Einstellung zu einem Thema, aber auch die wahrgenommene Verhaltenskontrolle als zwei der einflussreichsten Faktoren [vL11]. Die Konsequenz, die sich daraus ergibt ist, dass ein Verständnis gegenüber dem Thema Datensicherheit und Dateneingabe in einer mobilen Applikation geschaffen werden muss, indem über sämtliche mögliche Risiken, aber auch Chancen leicht verständlich aufgeklärt wird. Denn wenn der Nutzer glaubt, ein Verhalten sei leicht umsetzbar, wird er dies eher zeigen [vL11].

Neben dem Verständnis der Thematik wird der Nutzer befähigt, eine informierte Einwilligung zu geben. Um diese Einwilligung geben zu können, muss der Nutzer dazu psychisch und physisch in der Lage sein, d.h. insbesondere vollständig informiert und frei sein von äußerem Druck sein, sodass eine Freiwilligkeit gewährleistet werden kann, sowie die notwendigen Kapazitäten zur Entscheidung besitzen [Ey12].

Allgemeine Angebote zum Thema Internet und Datenschutz für Senioren gibt es bereits vielfach, oft begleitend mit Kursen, Lehrbüchern oder Internetforen ("Das Internet - Senioren und Internet"; "Datenschutz für Senioren | Silver Surfer Rheinland-Pfalz") [DIS16]. Diese sind jedoch selten in Form von einfachen Erklärungsvideos aufbereitet. Will man solche Videos finden, muss man weitere Quellen wie beispielsweise YouTube-

Kanäle wie explainity ("explainity - YouTube") [EXP16] heranziehen. Diese wiederum sind so umfangreich, sodass eine erneute Suche nötig wird. Aus diesem Grund wird innerhalb der Healthmonitoring-App ein Raum geschaffen, indem alle relevanten Fragen direkt geklärt und dem Nutzer ein objektiver Überblick aller anwendungsrelevanten Datenschutzaspekten geboten wird.

Speziell für die Zielgruppe gibt es bereits diverse Hilfestellungen im Umgang mit dem Smartphone, wie beispielweise von der Telekom ("Das Senioren-Angebot der Telekom" 2016) [DAS16]. Diese verwenden ebenfalls kurze Erklärungsvideos, zum Teil mit realen Personen, zum Teil aber auch mit Zeichentrickanimationen ("Hilfe-Videos" 2015) [HV15]. Anhand dieser Beispiele ergeben sich positive und negative Faktoren, die für die Erstellung von Erklärungsvideos zu beachten sind, wie z.B. die Videolänge und Deutlichkeit der Sprache, aber auch die Verwendung und nicht-Erklärung englischer Begriffe, die zu Verständnisproblemen führen können.

3 Konzept und Realisierung

Nach ersten offenen Gesprächen mit Personen der Zielgruppe hat sich ergeben, dass die Hauptgründe für die Nicht-Nutzung einer Healthmonitoring-App unter anderen daraus bestehen, dass einerseits die Notwendigkeit der Eingabe von Daten nicht verstanden und zum anderen auch nicht gewollt wird. Einer der Gründe für den Unwillen Daten preiszugeben ist, dass nicht erkennbar ist, wofür die Daten konkret benötigt werden, sowie, dass nicht ersichtlich ist, wer Zugriff auf diese Daten erlangt und wofür sie womöglich noch genutzt werden.

Gefolgert aus diesen Erkenntnissen ist ein erstes Video zum Thema Datenspeicherung und –Verarbeitung geplant. Dieses Video wird einer kleinen Gruppe Probanden vorgeführt, die im Anschluss an einem Interview teilnimmt. Anschließend werden die weiteren Themen auf Basis der Literatur ausgewählt. Insbesondere soll der Fokus jedoch auf den Elementen der App basieren, also sämtliche mögliche Probleme, Hindernisse oder Unklarheiten bezüglich der Eingabe und Verarbeitung von Daten abdecken. Dabei steht die Verständlichkeit im Vordergrund, was bei der Zielgruppe ebenfalls bedeutet, eine klare, verständliche und vor allem komplett deutsche Sprache zu verwenden, da die englische Sprache bei dieser oft Probleme hervorruft.

3.1 Validierung/Evaluation

Nachdem die Videos erstellt wurden, folgt eine Studie in der erhoben werden soll, ob die Videos verständlich sind, aufkommende Fragen beantworten und zu einem Kompetenzerwerb führen. Ebenso soll ermittelt werden, ob durch solche Videos und dem Verständnis der Thematik, auch die Bereitschaft steigt, eine Healthmonitoring-App zu verwenden.

Die Teilnehmenden werden bei einem Sportkurs (Rehabilitation) für Senioren akquiriert, sodass von einem Interesse an der allgemeinen Gesundheit und Fitness ausgegangen werden kann, dies könnte sich positiv auf die allgemeine Bewertung auswirken. Der Aufbau der Studie wird aus drei Bereichen bestehen. Zum einen dem Ansehen der Videos, der Bewertung der Videos nach den Kritikpunkten der Verständlichkeit, der potenziellen Nutzung, den vorhandenen Schwachstellen oder offenen Fragen und dem Kompetenzerwerb und zuletzt einer Evaluation weiterer möglicher Gründe für den Unwillen, seine Daten anzugeben.

Literaturverzeichnis

[Ay04] Aytes, K., & Connolly, T. (2004). Computer Security and Risky Computing Practices. Journal of Organizational and End User Computing, 16(3), 22–40. https://doi.org/10.4018/joeuc.2004070102

[DIS16] Das Internet - Senioren und Internet. (2016). Retrieved from http://www.senioren-auf-draht.sozi-alnetz.de/aw/seniorenundinternet/~bau/Das_Internet/

[DSA16] Das Senioren-Angebot der Telekom. (2016). Retrieved from https://www.telekom.de/hilfe/mobilfunk-mobiles-internet/das-seniorenangebot-der-telekom-video?samChecked=true

[DFS16] Datenschutz für Senioren | Silver Surfer Rheinland-Pfalz. (2016). Retrieved from http://www.sil-versurfer-rlp.de/tag/datenschutz-fuer-senioren/

[EXP16] explainity - YouTube. (2016). Retrieved from https://www.youtube.com/user/explainity

[Ey12] Eyal, & Nir. (2012). Informed Consent. Retrieved from https://plato.stanford.edu/entries/informed-consent/

[HV15] Hilfe-Videos. (2015). Retrieved from https://www.telekom.de/hilfe/hilfe-videos?samChecked=true

[Ho12] Howe, A. E., Ray, I., Roberts, M., Urbanska, M., & Byrne, Z. (2012). The Psychology of Security for the Home Computer User. In IEEE Symposium on Security and Privacy (SP), 2012. 20 - 23 May 2012, San Francisco, California, USA; proceedings (pp. 209–223). Pisca-taway, NJ: IEEE. https://doi.org/10.1109/SP.2012.23

[Le13] Lebek, B., Uffen, J., Breitner, M. H., Neumann, M., & Hohler, B. (2013). Employees' Information Security Awareness and Behavior: A Literature Review. In R. H. Sprague (Ed.), 2013 46th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS 2013). Wailea, [Maui], Hawaii, USA, 7 - 10 January 2013; [proceedings] (pp. 2978–2987). Piscataway, NJ: IEEE. https://doi.org/10.1109/HICSS.2013.192

[vL11] van Lange, P. A. M., Kruglanski, A. W., & Higgins, E. T. (Eds.). (2011). SAGE Social Psychology Program. Handbook of Theories of Social Psychology: Volume One. London: SAGE Publications.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 701

Partizipative Technikentwicklung: Entwurfsmuster als interdisziplinäre Lösungsschablonen zur ergonomischen Gestaltung sozio-technischer Systeme

Matthias Wille[1], Peter Rasche, Christina Bröhl, Sabine Theis, Tobias Seinsch und Alexander Mertens

Abstract: Im Rahmen des Projektes „Tech4Age“ wird eine neue Entwurfsmustersprache für mobile Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) für ältere Personen entwickelt mit besonderem Fokus auf Systemen zur Gesundheitsversorgung. Unter Berücksichtigung der steigenden Bedeutung von IKT im Bereich des Gesundheitswesens, dem voranschreitenden demographischen Wandel, sowie dem Ärztemangel in ländlichen Regionen, wird es zunehmend wichtiger, dass ältere Personen auch bei technischen Unterstützungssystemen eine an ihre Bedürfnisse und Fähigkeiten angepasste Ergonomie vorfinden. Da es sich hierbei um komplexe soziotechnische Systeme handelt erfolgt der Entwicklungsprozess mittels der Entwurfsmustersprache integrativ und partizipativ. In diesem Kontext bedeutet das, dass sowohl die potentiellen Adressaten der Entwurfsmuster als auch zukünftige Benutzergruppen aktiv in die Entwicklung miteinbezogen werden können. Die Entwurfsmustersprache ist dabei als Vermittler konzipiert, um Kompetenzen zwischen den verschiedenen Fachrichtungen im ergonomischen Bereich sowie den späteren Entwicklern von Anwendungen aufbauen und austauschen zu können. Dieses Paper stellt, neben dem Konzept von Entwurfsmustersprachen zur Meisterung der Herausforderungen partizipativer Entwurfsprozesse auch Auszüge der neuentwickelten Sprache sowie „Best Practices“ zur partizipativen Entwicklung und Anwendung von Entwurfsmustersprachen vor.

Keywords: Entwurfsmuster, partizipativ, interdisziplinär, IKT, Ergonomie, Ältere Nutzer, Technikentwicklung, Gestaltungsprozesse

1 Einleitung

Im vergangenen Jahrzehnt haben IKT-Produkte (Informations- und Kommunikationstechnologie- Produkte) massiv an Bedeutung für das Gesundheitswesen gewonnen. Speziell im Bereich der medizinischen Versorgung Älterer werden zunehmend Wearables erforscht und eingesetzt, die z.B. Schritte, Schlaf und Gesundheitsdaten aufzeichnen, stets mit dem Ziel die Gesundheitsinfrastruktur und die Patientenselbstverwaltung zu verbessern und zu stärken [RW15].

Im Rahmen des Projektes „Tech4Age“ werden partizipative Entwurfsprozesse zur Entwicklung altersgerechter Medizintechnik eingesetzt. Eine Herausforderung hierbei ist

[1] Lehrstuhl und Institut für Arbeitswissenschaft der RWTH Aachen, Bergdriesch 27, 52062 Aachen, Deutschland. {m.wille; p.rasche; c.broehl; s.theis; t.seinsch; a.mertens}@iaw.rwth-aachen.de

doi:10.18420/in2017_67

es alle beteiligten Stakeholder mit ausreichender Kompetenz auszustatten. Zum einen benötigen die Beteiligten Kompetenzen darin, die verschiedenen Perspektiven der einzelnen Disziplinen zu verstehen und sinnvoll nachvollziehen zu können. Zum anderen wird Kompetenz darin benötigt, schnell und effizient auf den aktuellen Stand der Wissenschaft und Technik zurückzugreifen, auch wenn dieser nicht von der Person selbst mit erarbeitet wurde. Durch den Einsatz von Entwurfsmustersprachen soll die Herausforderung aktueller Entwurfsprozesse adressiert werden, dass Forscher aber auch Anwender viel Zeit mit dem Erfassen und Erschließen von für sie relevanten, jedoch häufig aus anderen Domänen stammenden Informationen z.B. aus wissenschaftlichen Artikeln [SR15; Br15] verbringen. Die Lektüre eines Artikels dauert durchschnittlich 30 Minuten. Bei einer durchschnittlichen Anzahl von 300 Artikeln pro Jahr werden annäherungsweise 150 Stunden eines Jahres mit dem Sammeln von Informationen über die Arbeit anderer Wissenschaftler verbracht [Br15]. Obwohl aber viel Zeit mit dem Auffinden und Entwickeln von Lösungen für Probleme aufgewendet wird, werden Probleme immer wieder „neu erfunden“ und gelöst, obwohl eine Lösung bereits existierte [Bo01].

Die Entwurfsmustersprache stellt eine Möglichkeit dar, die notwendigen Kompetenzen in einem partizipativen Ansatz über Disziplinen und Expertisen Niveaus hinweg zu vermitteln [MD10] [Bo01]. Sie kann dabei am Anfang, während oder zum Ende eines Entwurfsprozesses zum Einsatz kommen.

Der Prozess der innerhalb des Projektes „Tech4Age“ entwickelten Entwurfsmustersprache ist partizipativ und iterativ gestaltet. Partizipativ wird in Rahmen dieser Veröffentlichung so verstanden, dass auf der einen Seite, die Perspektive des zukünftigen Benutzers des zu entwickelnden Systems, z.B. ältere Patienten in den Entwicklungsprozess einbezogen werden. Das hierbei verfolgte Ziel ist die relevanten Einflussfaktoren für die Technikentwicklung zu identifizieren und durch Entwurfsmuster die Quintessenz der Lösungsidee greifbar zu machen. Hierdurch können potentielle Hürden und Hemmnisse aus Benutzersicht frühzeitig identifiziert und behoben werden. Auf der anderen Seite bedeutet partizipativ im Rahmen der Entwurfsmustersprache, dass die so entwickelten Entwurfsmuster den an der Lösung eines Problems Beteiligten Anwendern, z. B. Entwicklungsingenieure, Softwareentwickler, Systemarchitekten nicht nur zur Verfügung gestellt werden, sondern von diesen auch bewertet werden. Der gesamte Vorgang erfolgt hierbei iterativ. Das bedeutet, dass die von den Anwendern beurteilten Entwurfsmuster überarbeitet werden und erneut durch die Nutzergruppen bewertet werden.

2 Entwurfsmustersprache (EMS)

Eine Entwurfsmustersprache besteht aus unterschiedlichen Entwurfsmustern, die in einer gemeinsamen Sprache bzw. Struktur aufgebaut sind. Die Entwurfsmuster beschreiben generische Lösungen für wiederholt auftretende Problemstellungen in einer leicht verständlichen, nicht fachspezifischen Sprachform.

Daher besteht ein Entwurfsmuster aus mindestens zwei Elementen: dem Problem und seiner Lösung. Es zeigt ein Lösungsmuster für ein bestimmtes Problem auf. Zusätzlich können je nach Kontext der Entwurfsmustersprache noch weitere Elemente in Erwägung gezogen werden [Al79]. In Architektur [Al79], Software-Entwicklung [BM96] und vielen IT-Bereichen [Be11] haben sich Entwurfsmustersprachen als Methode zum schnellen Informationsaustausch seit Jahrzehnten bewährt [MD10].

2.1 Wie entwickelt man ein Entwurfsmuster?

Im Rahmen von verschiedenen Workshops und Diskussionsrunden, die wir zu dem Thema durchgeführt haben, zeigte sich, dass die Entwurfsmuster-Entwicklung eine Menge Fragen aufwirft. Folgende sind typische Fragen von Erstnutzern:

- Was ist ein angemessener Lösungsraum?
- Wie viele Entwurfsmuster sind zur Abdeckung des relevanten Stands der Wissenschaft und Technik notwendig?
- Wie detailliert sollten die Entwurfsmuster sein?
- Wie sollten die Entwurfsmuster strukturiert sein?

Die Begrenzung des Lösungsraums ist wichtig und herausfordernd. Ist er zu groß angelegt, wird die Entwurfsmustersprache niemals fertiggestellt, ist er zu klein können nicht alle Entwurfsmuster ohne Anpassung des Lösungsraums integriert werden. Daher schlagen wir vor, mit einem kleinen Lösungsraum anzufangen, der je nach Bedarf iterativ erweitert wird.

Nach der Definition des Lösungsraums stehen oft die Fragen im Raum, welche die nötige Anzahl an Entwurfsmustern ist, die zur Erfassung eines bestimmten Problems und seiner Lösung notwendig sind und wie komplex einzelne Entwurfsmuster sein sollten. Um diese Frage zu beantworten, ist es notwendig die Adressaten- und die Nutzer-Zielgruppe zu definieren. Die Adressaten sowie die Nutzer-Zielgruppe werden dann partizipativ und somit aktiv in den Entwicklungsprozess durch z.B. durch die Evaluation von Entwurfsmustern mittels Befragungen, Laborstudien oder Workshops miteinbezogen. Es hat sich als sinnvoll herausgestellt, mit einigen einfachen Entwurfsmustern zu beginnen, die zu wiederholt auftretenden Problemen aus einem bestimmten Forschungsbereich Lösungen aufzeigen. Wenn nötig können aus diesen dann komplexere Strukturen zusammengestellt werden. Der gesamte Entwicklungsprozess, der iterative zu verstehen und anzuwenden ist, ist in Abbildung 1 in einer Übersicht dargestellt. Der erste Schritt in der Entwicklung eines Entwurfsmusters ist gemäß Abbildung 2 die Definition des Problems. Es ist hierbei notwendig, die Detailtiefe und Komplexität der Problempräsentation festzulegen. Das gilt auch für den zweiten Schritt, der Lösung des Problems. Im dritten Schritt werden Einschränkungen entsprechend des Problems und des Lösungsmusters definiert, d.h. Bereiche in denen das Entwurfsmuster nicht zutrifft bzw. keine Gültigkeit hat.



Abb.1: Darstellung der wesentlichen Schritte bei der partizipativen Entwicklung einer Entwurfsmustersprache.

Der vierte Schritt ist zwar optional, aber zum Zwecke eines einfacheren Verständnisses kann es sinnvoll sein, Problem und Lösungsmuster zu illustrieren. Die Schritte eins bis vier sind partizipativ zu verstehen, d.h. dass Adressaten der Entwurfsmuster sowie die Nutzer-Zielgruppen werden in die Prozesse miteinbezogen. Basierend auf der Problemlösung und den Einschränkungen sollte der entsprechende Kontext definiert werden. Dies ist erst der fünfte Schritt, da es wesentlich einfacher ist, einen passenden Kontext für ein bestimmtes Problem zu definieren als anders herum. Hiernach sollten als sechster Schritt Verknüpfungen zu anderen Entwurfsmustern bestimmt werden. Der letzte Schritt ist die Namensvergabe, wobei der Name zur Entwurfsmustersprache passen sollte. Um Dopplungen zu vermeiden, sollte der Name als letztes festgelegt werden.

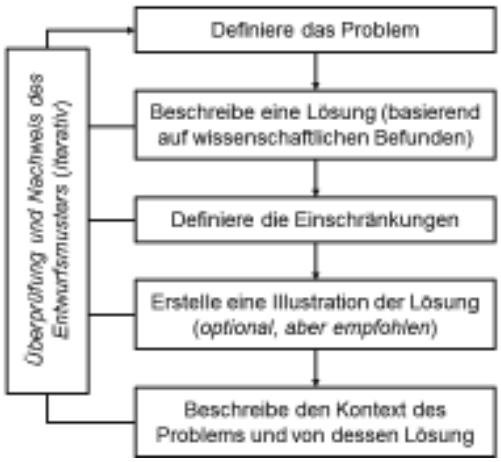


Abb. 2: Prozess zum Entwickeln eines bestimmten Entwurfsmusters.

Alle Schritte dieses Prozesses sind als iterativer Zyklus angelegt, weil die Problemdefinition die Lösung beeinflusst, diese die Einschränkungen und so weiter.

Nachdem die Entwurfsmuster entwickelt wurden, müssen die Verknüpfungen zwischen ihnen definiert werden. Der letzte Schritt in der Entwicklung einer Entwurfsmustersprache sollte sein, die Verknüpfungen als korrekt und passend zu überprüfen.

2.2 Entwurfsmustersprache „Mobile IKT für Ältere“

Unsere Entwurfsmustersprache „Mobile IKT für Ältere“ basiert auf den Erfahrungen mit der AAL-Entwurfsmustersprache von Mertens et al. [MD10]. Im Rahmen des interdisziplinären Forschungsprojektes „Tech4Age“ [WT16, MR17] werden nun Entwurfsmuster aus verschiedenen oft grundlegenden partizipativen Studien generiert, iterativ überarbeitet, konsolidiert und der Öffentlichkeit sowie potentiellen Anwendern vorgestellt (siehe auch www.tech4age.de). Sie soll damit als Basis für den Kompetenzaufbau am Anfang eines partizipativen Entwurfsprozesses anderer Forschung und industrieller Anwendung stehen. Ferner soll sie auch durch die interdisziplinäre Arbeit anderer fortwährend weiterentwickelt werden und damit mit dem Ende eines partizipativen Entwurfsprozesses wieder ein Stück wachsen.

Die gleichbleibende Struktur (die im Folgenden noch detailliert erläutert wird) unserer Entwurfsmuster besteht dabei aus dem Namen des Entwurfsmusters, dem Kontext in dem es Anwendung findet, der (altersbedingten) Beeinträchtigung der Zielgruppe, dem potentiellen Einsatzort (stationär, mobil, öffentlich, privat, klinisch), einer Kurzbeschreibung des Problems sowie der Lösung, einer Illustration der Lösung (optional), Einschränkungen in der Anwendung, Verknüpfungen mit anderen weiterführenden Entwurfsmustern und Referenzen, die aufzeigen auf welchen Studien die Entwicklung des Entwurfsmusters basiert.

Eine wesentliche Ergänzung bzw. Anpassung im Vergleich zu anderen Entwurfsmustersprachen stellen die Elemente „Einsatzort“ und „Beeinträchtigung der Zielgruppe“ dar, die mit Icons in die aktuelle grafische Umsetzung der Entwurfsmustersprache einfließen (siehe Tabelle 1 und Tabelle 2).

Einsatzorte	Icon
Stationär	
Mobil	
Öffentlich	
Privat	
Klinisch	

Tab. 1: Auflistung der Einsatzorte der Entwurfsmustersprache „mobile IKT für Ältere“ inklusive dazugehörigem Icon.

Diese tragen dem speziellen Anwendungsfall (Gesundheitsvorsorge und die Frage, wo

diese angewendet wird) und der speziellen Zielgruppe Rechnung, die sich durch altersbedingte, aber individuell sehr unterschiedliche Einschränkungen kennzeichnet.

Beeinträchtigung der Zielgruppe	Icon
Visuelle Wahrnehmung	
Auditive Wahrnehmung	
Haptische Wahrnehmung	
Gedächtnis	
Aufmerksamkeit und Reaktion	
Lernfähigkeit	
Kraft und Mobilität	
Feinmotorik	

Tab. 2: Auflistung der möglichen Beeinträchtigung der Zielgruppe in der Entwurfsmustersprache „mobile IKT für Ältere“ inklusive dazugehörigem Icon.

Jedes Entwurfsmuster erhält einen kurzen NAMEN, der die zentrale Idee griffig vermittelt und die Verständigung über den Entwurfsmustersprachen-Kontext erleichtert. Fachspezifisches Vokabular sollte zum Zweck besserer Verständlichkeit vermieden werden.

Der KONTEXT beschreibt den Anwendungsfall und die für das Auftreten des Problems relevanten Rahmenbedingungen. Hierdurch wird es dem Leser ermöglicht zu entscheiden, ob sich die im Entwurfsmuster beschriebene generische Lösungsstrategie auf die konkrete Situation übertragen lässt.

BEEINTRÄCHTIGUNGEN DER ZIELGRUPPE sind ein Charakteristikum des Gebiets „mobile IKT für Ältere“ und sind durch die Kategorien in Tabelle 2 spezifiziert. Die für den IKT-Kontext relevanten Kriterien sind das Ergebnis einer umfassenden Literaturanalyse durch Mertens [Me15]. Abbildung 3 zeigt die für IKT relevanten Kriterien und ihr altersbedingtes Auftreten. Die Beeinträchtigungen werden zum besseren Überblick durch Ankreuz-Felder ausgewählt, was Mehrfachauswahlen ermöglicht. Wenn das Entwurfsmuster nur für eine Zielgruppe ohne Beeinträchtigungen gilt, sollten die Ankreuz-Felder leer bleiben. Diese Kriterien stellen außerdem eine Möglichkeit der Verknüpfung der Entwurfsmuster dar und machen sie so innerhalb der Entwurfsmustersprache zugänglich.

Der EINSATZSORT beschreibt den Ort des durch das Entwurfsmuster adressierten Szenarios (siehe Tabelle 1). Bei diesen Kriterien ist ebenfalls Mehrfachauswahl möglich. Ebenso werden sie als Verknüpfungen innerhalb der Entwurfsmustersprache verwendet.

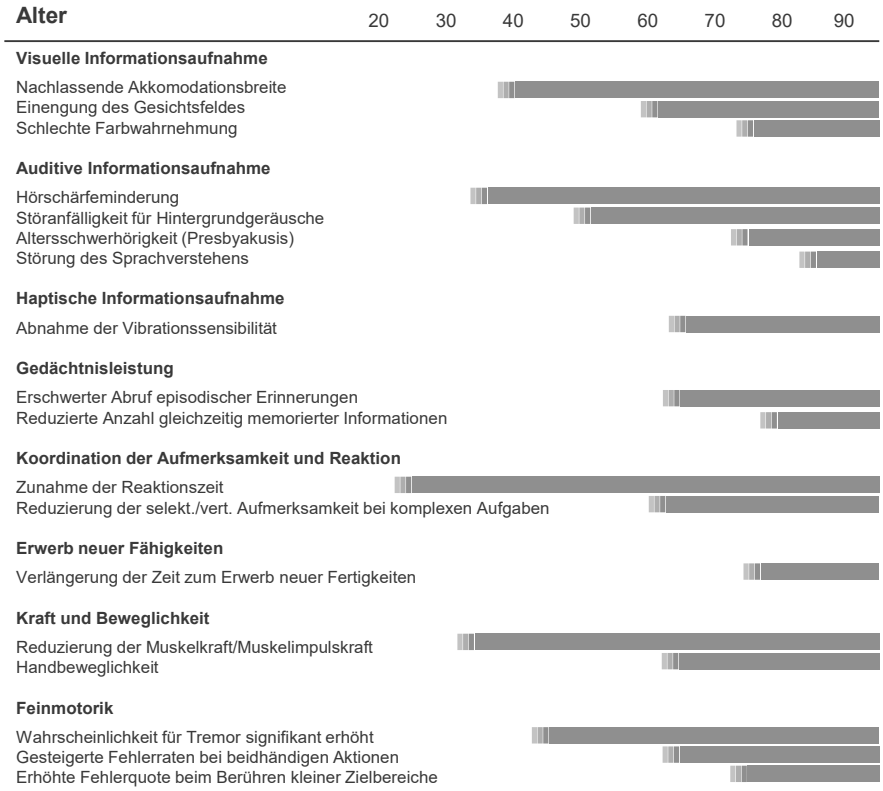


Abb. 3: Überblick über häufige Einschränkungen im Verlauf des Alters. Zitiert in Anlehnung an [Me15].

Beim INFORMATIONSFLUSS wird angegeben, auf welche Phase der Mensch-Maschine-Interaktion das Entwurfsmuster sich aus Sicht des Benutzers bezieht: Hierbei werden die frühen Prozesse „Informationseingabe“, die zentralen Prozesse „Informationsverarbeitung“ sowie die späten Prozesse „Informationsausgabe“ differenziert, wobei je nach Art des Entwurfsmusters auch mehrere Phasen adressiert werden können.

Das PROBLEM beschreibt die vorgefundene kritische Situation, die das Entwurfsmuster löst. Die Beschreibung erwähnt sich widersprechende Interessen und Kräfte unter Berücksichtigung der genannten Beeinträchtigungen, sozialer und ökonomischer Aspekte und individueller Präferenzen der Benutzer.

Quintessenz jedes Entwurfsmusters ist das LÖSUNGSMUSTER. Es enthält konstruktive Empfehlungen, die sich als hilfreich bei der Lösung des Problems herausgestellt haben. Darüber hinaus müssen hier wissenschaftliche Methoden und Vorgehensweisen detailliert beschrieben werden.

Um die Verständlichkeit des Lösungsmusters zu erhöhen, kann eine ILLUSTRATION angefügt werden, die die Kernidee durch eine Fotografie, ein Diagramm oder eine technische Zeichnung visuell verdeutlicht.

Natürlich haben einige Entwurfsmuster EINSCHRÄNKUNGEN, etwa auf eine gewisse Bildschirmgröße oder ein bestimmtes IKT-Produkt, für das das Lösungsmuster gilt. Weiterhin kann eine Einschränkung auf bestimmte Anwendungsfelder bestehen, wenn die Lösung für Benutzer mit bestimmten Krankheiten (z.B. Demenz, Fehlsichtigkeit oder Probleme in der Feinmotorik) entwickelt und erprobt wurde.

Die VERKNÜPFUNGEN verbinden die an sich eigenständigen Entwurfsmuster zu einer Sprache, indem sie andere Entwurfsmuster referenzieren. Dies führt zu einem tieferen und breiteren Verständnis des Themas und zeigt außerdem alternative, kontextuell relevante Entwurfsmuster auf. Dabei stellen manche Verknüpfungen eine Vertiefung oder Spezialisierung dar, andere eine Erweiterung oder eine Querverbindung zu anderen Entwurfsmustern (siehe Abbildung 4).

Die REFERENZEN geben an, auf Basis welcher Studien das konkrete Entwurfsmuster abgeleitet wurde. Der interessierte Leser kann so bei Bedarf die Entwicklung des Entwurfsmusters besser nachvollziehen und es in seiner Wichtigkeit und Gültigkeit für seinen Spezialfall gegebenenfalls besser beurteilen.

Die semiformale Struktur sorgt für eine gute Gliederung innerhalb des gegebenen Rahmens, ohne die Lesbarkeit zum Zwecke eines totalen Formalismus zu opfern. Benutzer von Entwurfsmustern lernen quasi eine neue Sprache, die aus Vokabeln (Namen der Entwurfsmuster) und Grammatik (Elemente und ihre Verknüpfung) besteht und das Verfassen neuer Ideen sowie die Kommunikation mit allen Beteiligten ermöglicht.

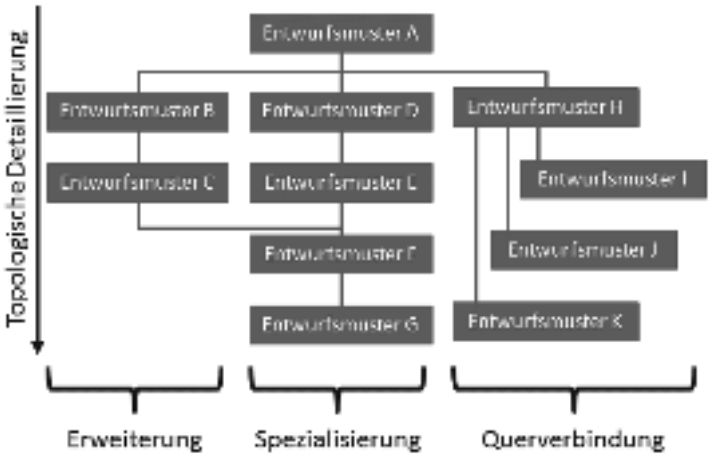


Abb. 4: Verknüpfungen zwischen Entwurfsmustern.

2.3 Entwurfsmuster-Beispiele

Für ein besseres Verständnis der Nutzung von Entwurfsmustern zeigen wir zwei Beispiele aus der Entwurfsmustersprache „mobile IKT für Ältere“.

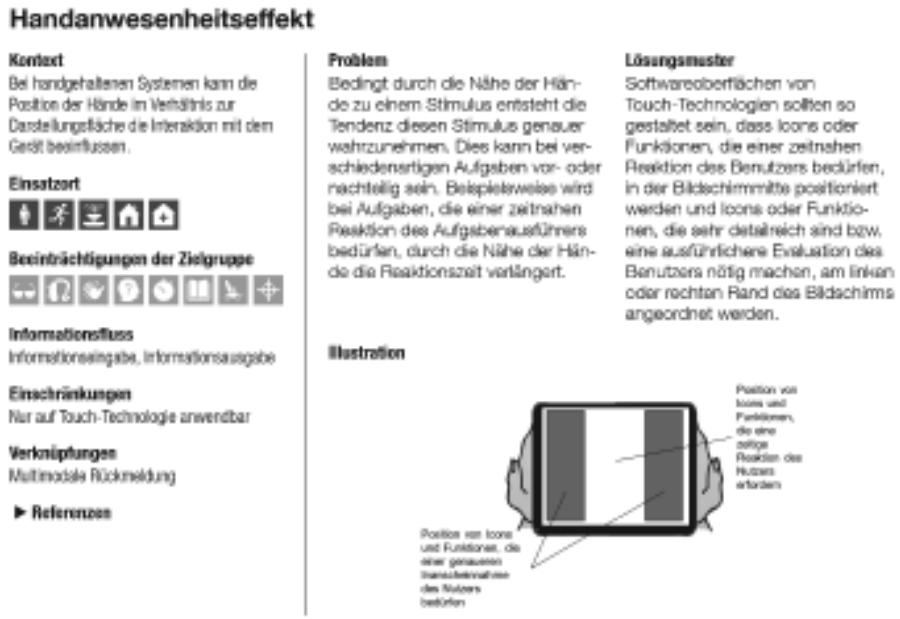


Abb. 5: Entwurfsmuster Handanwesenheitseffekt.

Das erste Entwurfsmuster (Abbildung 5) bezieht sich auf Informationsentnahme auf Touchscreen-Oberflächen. Visuelle Informationen in der Nähe der Hand werden anders verarbeitet als weiter entfernte, wobei die Auswirkung dieses Effekts stark von der Aufgabenstellung sowie von der Handhaltungsposition des technischen Geräts abhängt. In dieser Studie wurde der Effekt des Handanwesenheitseffekts mithilfe einer eingehenden visuellen Mustersuche und zwei verschiedener Handpositionen (Hände am Bildschirm vs. Hände auf dem Schoß) analysiert. Die Befunde wurden bezüglich Suchzeit in unterschiedlichen Bereichen des Bildschirms und zweier unterschiedlicher Altersgruppen untersucht [BT17]. Dieses Entwurfsmuster soll in einem nächsten Schritt im Hinblick auf verschiedene Aufgabentypen und Handhaltungspositionen [BM17], die bei der Interaktion mit Touchtechnologien eine Rolle spielen erweitert werden.

Das zweite Entwurfsmuster (Abbildung 6) behandelt eine neu entwickelte Interaktionstechnik für Touch-Technologien, die für Benutzer mit Tremor geeignet ist.

Während einer Eingabe auf dem Touchscreen können alle Wischbewegungen präzise aufgenommen und zur Berechnung der gewünschten Eingabe herangezogen werden. Die Ergebnisse zeigen, dass die Fehlerrate der Eingaben von Tremorpatienten im Gegensatz zu virtuellen Tastaturen signifikant verringert werden kann, je nach Stärke und Art des Tremors [MW11].



Abb. 6: Entwurfsmuster Informationseingabe auf Touchscreens bei eingeschränkter Feinmotorik.

3 Partizipation: Rückmeldung aus der praktischen Anwendung

Im Rahmen der iterativen Entwicklung der Entwurfsmusterspreche wurden Softwareentwickler aus Industrie (OEM, KMU, Selbstständige) und Forschung in Interviews zur Eignung der Entwurfsmustersprache für die partizipative Entwicklung (software)technischer Systeme befragt. Bei den Rückmeldungen zeigte sich, dass die neue Entwurfsmustersprache als sinnvolle Ergänzung zu etablierten User Interface Guide z.B. von Apple oder Android erlebt wird. Speziell die Unterkategorien „Einsatzort“ und „Beeinträchtigung der Zielgruppe“ werden als praxisnahe Ergänzung angesehen, wobei der Bedarf aber auch davon abhängt, ob zielgruppenspezifische Anwendungen entwickelt werden. Neben „Entwicklern“ wurden insbesondere Usability Experten, Interfacedesigner und Softwarearchitekten als zusätzliche Adressaten identifiziert. Die Auflistung der Leistungsveränderung wird (derzeit) als ein Alleinstellungsmerkmal angesehen welchen

in Hinblick auf den Detailierungsgrad der Einschränkungen noch weiter ausdetailliert werden solle und um den Kontext kognitiver Leistungsveränderungen der Zielgruppe erweitert werden soll. Hierbei sollen durch Filtern die gewünschten Kombinationen von Leistungsveränderungen z.B. zur Erstellung von realitätsnahen Personas kombiniert werden können. Die als Neuerung im Vergleich zu anderen Entwurfsmustersprachen eingeführten Referenzen auf Forschungspublikationen werden als äußerst wichtig wahrgenommen und sollen ausgebaut werden.

4 Zusammenfassung

In diesem Paper wird eine bereits einsatzfähige Entwurfsmustersprache für den Kontext „mobile IKT für Ältere“ vorgestellt. Die einfache und klare Struktur der Sprache ermöglicht den interdisziplinären Austausch von Forschungsergebnissen vor, während und nach einem partizipativen Entwurfsprozess in einer kompakten und gut organisierten Form ohne umfassendes Fachwissen vorauszusetzen. Durch die relevanten Informationen in den Entwurfsmustern können disziplinübergreifend notwendige Kompetenzen für einen partizipativen Entwurfsprozess deutlich schneller und effektiver aufgebaut und ausgetauscht werden.

5 Einschränkung

Die gezeigte Entwurfsmustersprache ist für den Kompetenzaufbau von Ergebnissen im Bereich der mobilen IKT für Ältere geeignet. Andere Anwendungsbereiche erfordern eventuell eine andere Struktur und andere Elemente in der Struktur der Sprache. Außerdem kann es notwendig werden, die Sprache mit fortschreitender Größe entsprechend den vorgestellten Entwicklungsprozessen neu zu definieren. Insbesondere die Klassifikation der Beeinträchtigungen und Einsatzorte müssen erweitert werden, da sich durch Entwicklungen im IKT-Bereich neue Anwendungsbereiche und Inklusionen von beeinträchtigten Nutzergruppen erschließen.

6 Danksagung

Dieses Paper ist ein Ergebnis des Forschungsprojekts Tech4Age, das vom Ministerium für Bildung und Forschung (16SV7111) unter der Leitung der VDI/VDE Innovation + Technik GmbH gefördert wird. Weitere Informationen siehe www.Tech4Age.de.

Literaturverzeichnis

[Al79] Alexander, C.: The timeless way of building. Oxford University Press, New York, 1979.

[Be11] Betz, C. T.: Architecture and patterns for IT service management, resource planning,

and governance: Making shoes for the cobbler's children. Elsevier, 2011.

[Bo01] Borchers, J. O.: A pattern approach to interaction design. In: Ai & Society 15 (4), S. 359–376, 2001.

[BM17] Bröhl, C.; Mertens, A.; Ziefle, M.: How Do Users Interact With Mobile Devices? An Analysis of Handheld Positions for Different Technology Generations. In: HCI International 2017. Springer, Heidelberg, (in print), 2017.

[BM96] Buschmann, F.; Meunier, R.; Rohnert, H.; Sommerlad, P.; Stal, M.: A system of patterns: Patternoriented software arc.hitecture. 1996.

[Br15] Brown, D. J.: Access to Scientific Research. De Gruyter (Global Studies in Libraries and Information), 2015.

[BT17] Bröhl, C., Theis, S., Rasche, P., Wille, M., Mertens, A., & Schlick, C. M.: Neuroergonomic analysis of perihand space: effects of hand proximity on eye-tracking measures and performance in a visual search task. 2017.

[MW11] Mertens, A.; Wacharamanotham, C.; Hurtmanns, J.; Kronenbuerger, M.; Kraus, P. H.; Hoffmann, A. et al.: Model Based Processing of Swabbing Movements on Touch Screens to Improve Accuracy and Efficacy for Information Input of Individuals Suffering from Kinetic Tremor. In: Human–Computer Systems Interaction: Backgrounds and Applications 2 98, S. 503, 2011.

[Me15] Mertens, A.: Alternsgerechte Gestaltung von Mensch-Maschine-Schnittstellen zur ergonomischen Interaktion mit telemedizinischen Systemen und Dienstleistungen. Shaker (Schriftenreihe Industrial engineering and ergonomics, 16), Aachen, 2015.

[MD10] Mertens, A.; Dünnebacke, D.; Jochems, N.; Schlick, C. M.: Entwurfsmustersprache für altersgerechte Assistenzsysteme. In: Ambient Assisted Living-AAL. 2010.

[MR17] Mertens, A.; Rasche, P.; Theis, S.; Bröhl, C.; Wille, M.: Use of information and communication technology in healthcare context by older adults in Germany: First results of the Tech4Age-Longitudinal study. In: i-com, 2017 (accepted).

[RW15] Rasche, P., Wille, M., Theis, S., Schaefer, K., Schlick, C. M., & Mertens, A.: Activity Tracker and Elderly. In Computer and Information Technology; Ubiquitous Computing and 2016 International Symposium on Human Factors and Ergonomics in Health Care: Improving the Outcomes 23 Communications; Dependable, Autonomic and Secure Computing; Pervasive Intelligence and Computing (CIT/IUCC/DASC/PICOM), 2015 IEEE International Conference on, pp. 1411-1416, IEEE, 2015.

[SR15] Silva, Bruno M. C.; Rodrigues, Joel J. P. C; de la Torre Díez, Isabel; López-Coronado, Miguel; Saleem, Kashif: Mobilehealth: A review of current state in 2015. In: Journal of biomedical informatics 56, S. 265–272, 2015.

[WT16] Wille, M., Theis, S., Rasche, P., Bröhl, C., Schlick, C., & Mertens, A.: Best Practices for Designing Electronic Healthcare Devices and Services for the Elderly. i-com, 15(1), 67-78, 2016.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 713

Umwelt-System-Mensch-Interaktion: Auswahl und Evaluation von Sensorik und Aktuator eines Fußgänger-Assistenzsystems für ältere Menschen im Straßenverkehr

Hasham Shahid Qureshi[1], Youssef Bagueri[1], Stefanie Boxhorn[1], Florian Breitinger[1], Janna Protzak[1] und Rebecca Wiczorek[1]

Abstract: Vorgestellt wird die nutzerzentrierte und partizipative Entwicklung und Evaluation eines Fußgänger-Assistenzsystems für ältere Fußgänger/innen. Das System soll ihnen dabei helfen, potentielle Gefahren rechtzeitig wahrzunehmen und entsprechend zu reagieren. Dazu detektiert das System die Straßenverkehrsumgebung mittels mehrerer Sensoren und interagiert mit den Nutzern/innen über eine taktile Schnittstelle. Im Rahmen des Beitrags werden ausgewählte Aspekte der Entwicklung, Funktionalität und Evaluation des Assistenzsystems präsentiert.

Keywords: Nutzerzentriertes Design, Ältere Erwachsene, Taktile Schnittstellen

1 Einleitung

Die Entwicklung und Evaluation eines Assistenzsystems für die ältere Zielgruppe erfolgt im Projekt FANS (Fußgänger-Assistenzsystem für ältere Nutzerinnen und Nutzer im Straßenverkehr) partizipativ und nutzerzentriert. Das Vorgehen zeichnet sich dabei durch einen iterativen Charakter aus, bei dem sich Anforderungsanalysen, Entwicklung und Nutzerevaluation abwechseln. Zunächst wurden Gruppendiskussionen mit Experten/innen sowie älteren Fußgänger/innen durchgeführt. Anschließend wurden erste Teile des Prototyps entwickelt, die in einer Laborstudie zwischenevaluiert wurden. Nach einer Überarbeitung des Prototyps soll zunächst eine Evaluation in virtueller Realität (VR) und später im Feld erfolgen. Hier werden ausgewählte Daten zum aktuellen Stand der Forschung und Entwicklung mit Schwerpunkt auf der sensorischen Detektion der Verkehrsumwelt sowie einer thermischen Nutzerschnittstelle vorgestellt.

2 Anforderungsanalyse

Zunächst wurden zwei Gruppendiskussionen durchgeführt und u.a. hinsichtlich der Fragen nach der Akzeptanz und Gestaltung des geplanten Fußgänger-Assistenzsystems ausgewertet. In den Gruppendiskussionen wurde über mögliche Warnmodalitäten, die generelle Bereitschaft sich von technischen Hilfsmitteln im Straßenverkehr unterstützen

[1] TU Berlin, Institut für Psychologie und Arbeitswissenschaft, Sek. MAR 3-2, Marchstr. 23, 10587 Berlin, wiczorek@tu-berlin.de

doi:10.18420/in2017_68

zu lassen und deren Einsatz in subjektiven und objektiven Gefahrensituationen diskutiert. Im Hinblick auf die Warnmodalitäten hat die Auswertung ergeben, dass die Teilnehmer/innen taktiles Feedback bevorzugen würden, da der Straßenverkehr und die Umgebung bereits mit einer Überfülle an auditiven und visuellen Reizen ausgestattet seien. Die Bereitschaft ein technisches Hilfsmittel im Straßenverkehr zu nutzen, war bei fast allen Teilnehmern/innen sehr hoch. Dies lässt sich vor allem auf die Erfahrungen im Umgang mit technischer Unterstützung beim Autofahren zurückführen. Es wurde allerdings immer betont, dass im Hinblick auf die Zielgruppe der älteren Menschen eine einfache Bedienbarkeit des Assistenzsystems essentiell sei.

3 Schnittstelle Umwelt und System – Auswahl Sensorik

Das Fußgänger-Assistenzsystem soll die älteren Fußgänger/innen bei der Straßenquerung unterstützen, indem es ihnen hilft, ihre Aufmerksamkeit auf potentiell gefährliche Verkehrsteilnehmer/innen und –situationen zu richten. Dazu soll die Fahrbahn aus fußgängerperspektive identifiziert und die Nutzer/innen rechtzeitig gewarnt werden. Das Hauptaugenmerk liegt zunächst auf der Identifikation der Bordsteinkante als relevanter Übergang zwischen Gehweg und Straße. Diese soll mittels Multi-Sensor-Fusion und Integration (MSFI) erfolgen. Das Ziel der MSFI ist es, durch die Nutzung mehrerer Sensoren eine zuverlässige Detektion des relevanten Merkmals zu gewährleisten. Dabei werden die Konzepte von Redundanz und Diversität kombiniert. Verschiedenartige Sensoren messen dasselbe jedoch auf unterschiedliche Weise. Dadurch soll sichergestellt werden, dass sie ihre jeweiligen Schwächen gegenseitig kompensieren und die Zuverlässigkeit der Messungen steigern.

Auf Basis einer ersten Sensoranalyse entschieden wir uns für die Nutzung eines GPS-empfängers, einer Inertialmesseinheit (IMU), einer Kammera und eines Leddar-Abstandssensors (16-kanaliger Infrarotsensor). Die Daten werden mittels Microcontroller aufgenommen und verarbeitet, wobei die Aufnahmen mit der Programmbibliothek LabStreamingLayer (LSL) umgesetzt und synchronisiert werden. Der GPS-Empfänger dient der Navigation. Um die Lokalisation zu präzisieren, werden die Messdaten mit denen der IMU fusioniert. Die Fusionierung der GPS- und IMU-Daten erfolgt mithilfe eines Kalman Filter. Zur Analyse der Kameradaten sollen Methoden der Computer Vision genutzt werden. Mit maschinellem Lernen soll aus den Kamera- und Leddar-Daten die Detektion der Straße bzw. des Bordsteines möglich sein. In einem nächsten Schritt wurde eine Anforderungsanalyse durchgeführt, die die Zielfunktion der Umgebungserkennung auf Basis der technischen und nutzerzentrierten Anforderungen definieren sollte. Bei einer durchschnittlichen Laufgeschwindigkeit älterer Personen von 80-130 Schritten pro Minute [Wh14] und einer gesetzlich vorgeschriebenen Mindestbreite der Bürgersteige in Berlin von 2,5m [AV10], wurde zunächst ein Detektionsfenster von 2m +/- 1m definiert. Innerhalb dieser Entfernung von der Bordsteinkante muss die Fahrbahn durch das System erkannt und an die Nutzer/innen gemeldet werden, um ein angemessenes Zeitfenster zum Reagieren (Annäherung, Stehenbleiben, visuelle Gefahrendetektion) zu gewährleisten.

Von entscheidender Bedeutung ist entsprechend der Winkel, in dem sich die Person der Straße nähert sowie der Messwinkel der Sensoren. In systematischen Tests wurden diese Parameter variiert, um die Grenzen der Detektierbarkeit und daraus abgeleitet die Funktionalität und die Restriktionen des Systems zu definieren. Im Folgenden wird ein Set an Messstellen zusammengestellt, welches für Berlin repräsentative Querungsstellen beinhalten soll. Die Messstellen werden so gewählt, dass sie das Vorkommen der verschiedenen Kombinationen typischer Gehweggestaltung systematisch abbilden. Ein weiteres Set aus Messdaten, welches keine Querungsstellen enthält, wird außerdem zusammengestellt. Diese beiden Datensets dienen dazu, einen Algorithmus mit Techniken des „Deep Learning“ insbesondere die Algorithmen „Convolutional Neural Network“ (CNN) und „Support Vector Machine“ (SVM) zu trainieren.

4 Schnittstelle System und Mensch – Auswahl Aktuatorik

Grundsätzlich nehmen alle Sinneswahrnehmungen mit zunehmendem Alter ab bzw. verschlechtern sich. Wobei es hier starke individuelle Unterschiede gibt. Des Weiteren ist jedoch nicht bei allen Modalitäten ein gleich starker Rückgang zu beobachten. Während visuelle und auditive Wahrnehmungen z.B. stark nachlassen, ist das beim Geruchssinn erst in einem späteren Stadium der Fall. Zur taktilen Wahrnehmung gibt es bislang deutlich weniger Befunde, da sie in unserem Alltag häufig eine eher untergeordnete Rolle spielt. Neueste Studien deuten jedoch darauf hin, dass diese wenig genutzte Modalität besonders für ältere Menschen Vorteile in der Anwendung bieten könnte [PS16]. Im Gegensatz zu visuellen und auditiven Nachrichten stellt sie darüber hinaus eine komplett unmittelbare Form der Kommunikation dar, die die Nutzer/innen weder übersehen noch überhören können und die kaum Gefahr läuft, von anderen Umgebungsinformationen desselben Typs überlagert zu werden. Die intuitive Reaktion auf taktile Stimulierung ist eine Hinwendung der Aufmerksamkeit. Wenn es gelingt, diese Aufmerksamkeit für die alarmierten Umgebungszustände zu nutzen, stellt ein Assistenzsystem mit einer taktilen Schnittstelle eine sehr zuverlässige Unterstützung bei gleichzeitig simpler Form der Kommunikation dar. Um einen breiten Erkenntnisgewinn und einen hohen Grad an Innovation im Projekt zu gewährleisten, wurden zwei verschiedene taktile Schnittstellen gegeneinander und gegenüber einem auditiven Interface empirisch evaluiert. Die eine Schnittstelle nutzt Vibration als Kommunikationssignal. Diese wird über in der Haut befindliche Vibrorezeptoren wahrgenommen. Die andere Schnittstelle arbeitet mit Temperaturreizen, deren Perzeption durch Thermorezeptoren des Menschen erfolgt. Diese Modalität wird bislang nicht in praktischen Anwendungen genutzt, da es bisher sehr wenig diesbezügliche Forschung gibt. Erste Untersuchungen belegen jedoch das Potential dieser Art der Informationsübermittlung [BJP15]. Potentielle Vor- und Nachteile der thermischen vs. Vibrations-Information sollen experimentell evaluiert werden. Im Gegensatz zur Vibration ist eine thermische Stimulation vollkommen geräuschlos, was die Akzeptanz verbessern könnte. Zudem wird der Reiz direkt auf die Haut appliziert, was die Wahrnehmbarkeit verbessern könnte. Außerdem soll der Frage nachgegangen werden, ob es bei einer der beiden taktilen Warnungen über die Zeit zu einer Adaptation bzw. einer

Überreizung kommt.

5 Evaluation Aktuatorik

Im der durchgeführten Laborstudie ging es darum, die Schnittstellenmodalität für das Fußgänger-Assistenzsystem in Hinblick auf die Leistung in der Gefahrendetektion, das Vertrauen und die Akzeptanz der Nutzer/innen sowie ihre Aufmerksamkeitsverteilung bei der Nutzung des Assistenzsystems mithilfe der Zielgruppe zu evaluieren. Dazu wurden 30 ältere Versuchspersonen (65+) untersucht. Im Zuge der vierstündigen Erhebung absolvierten sie eine Gefahrendetektionsaufgabe, jeweils begleitet von einer visuellen oder einer kognitiven Sekundäraufgabe. Die Probanden/innen nutzten nacheinander aber in unterschiedlicher Reihenfolge drei Assistenzsysteme mit jeweils unterschiedlicher Schnittstellenmodalität (vibro-taktil, thermo-taktil, akustisch). In einer vorangehenden und einer abschließenden Baselinemessung bewältigten sie die Aufgaben zum Vergleich ohne ein Assistenzsystem. Erhoben wurden die Reaktionszeiten und die Fehler sowie das Vertrauen in die Systeme und deren Akzeptanz durch die Nutzer/innen. Zur Untersuchung von Fehlverhalten und Vertrauensentwicklung wurden verschiedene Arten von Fehlern des Assistenzsystems simuliert. Die erhobenen Daten werden derzeit ausgewertet.

Literaturverzeichnis

[AV10] Ausführungsvorschriften zu § 7 des Berliner Straßengesetzes über Geh- und Radwege (AV Geh- und Radwege). Sensatsverwaltung für Stadtentwicklung, 2010.

[BJP15] Bolton, F.; Jalaliniya, S.; Pederson, T.: A wrist-worn thermohaptic device for graceful interruption. IxD&A 26, S. 39-54, 2015.

[PS16] Pitts, B.; Sarter, N.: Two is company, three is a crowd: Age-related differences in processing concurrent visual, auditory, and tactile cues. In: Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting, 2016. (Vol. 60, No. 1, pp. 1544-1544). Sage CA: Los Angeles, S. 1544-1544, 2016.

[Wh14] Whittle, M. W.: Gait analysis: an introduction. Butterworth-Heinemann, Oxford, 2014.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 717

Partizipatives Entwerfen zukünftiger Roboter

Sebastian Reichel[1], Alexandra Weidemann[1], Diego Compagna[1] und Raphael Deimel[1]

Abstract: Im interdisziplinären Forschungsprojekt MTI-engAge wird an vier verschiedenartigen Robotern untersucht, wie Aussehen, soziale Kommunikationsfunktionalität, Größe, Bewegung und Verhalten das Gelingen einer Interaktion zwischen Mensch und Roboter-Assistenzsystemen beeinflussen, indem gemeinsam mit Nutzern praxisorientierte Demonstratoren evaluiert werden. Die Einbeziehung der Nutzer in Entwicklungsprozesse von Systemen und die gründliche Auseinandersetzung mit ihren mentalen Modellen werden als Schlüssel für die Akzeptanz und damit für den Erfolg zukünftiger Roboter angesehen.

Keywords: Partizipative Entwicklung, User Experience, Mensch-Roboter-Interaktion

1 Einleitung

Im interdisziplinären Forschungsprojekt MTI-engAge wird untersucht, wie die Interaktion zwischen Mensch und Roboter-Assistenzsystemen gestaltet werden kann, indem gemeinsam mit Nutzern praxisorientierte Demonstratoren (vgl. Abb.1) evaluiert werden.

Mit steigendem technologischen Fortschritt werden Roboter perspektivisch nicht mehr nur in der Fabrik, sondern zunehmend auch im häuslichen Umfeld zum Einsatz kommen, um Menschen zu unterstützen. Weil insbesondere der Wohnbereich auf den menschlichen Maßstab ausgelegt ist, kann es von Vorteil sein, wenn Roboter, die in diesem Umfeld agieren und mit Menschen interagieren, in einigen Eigenschaften mit dem Menschen kompatibel sind. Diese Eigenschaften, wie Größe, Bewegung, Verhalten, Aussehen und soziale Kommunikationsfunktionalität zu untersuchen, ist Forschungsgegenstand. Es ist jedoch kein einfaches Anliegen, denn für ansprechende Interaktionen müssen Roboter zur richtigen Zeit, auf die richtigen Art und Weise, das Richtige tun. Das Aussehen des jeweiligen Roboters muss mit den tatsächlichen Fähigkeiten des Roboters korrelieren, sonst kann es zu Fehleinschätzungen des Könnens führen und die Interaktion gestört werden.

2 Roboter im Labor

Für die Untersuchungen stehen mehrere Demonstratoren zur Verfügung: Zwei kommerzielle Roboter (Nao und Pepper der Firma Softbank Robotics), ein Rüssel (BROMMI:TAK), ein zweiarmigen Torso (ZAR) und ein Roboterkopf. Im Folgenden

[1] Technische Universität Berlin, MTI-engAge, Einsteinufer 17, 10587 Berlin, reichel@tu-berlin.de

doi:10.18420/in2017_69

werden die Eigenentwicklungen näher beschrieben.

2.1 BROMMI:TAK und ZAR 5

Der erste Demonstrator der mit Probanden getestet wurde war BROMMI:TAK, eine zwei Meter lange, von der Decke herabhängende „Rüssel"-Kinematik, bestehend aus einer Kette steifer Segmente, welche von pneumatischen Muskeln aktuiert werden. Im Mittelpunkt stand die Frage, durch welche Faktoren eine basale Mensch-Roboter Interaktion – z.B. die Übergabe von Objekten - verbessert werden kann. Dafür wurde die unterteilt wirkende Kinematik mit einer dehnbaren, lichtdurchlässigen Stoffhülle umkleidet und die Bewegungsbahnen des Roboters geglättet. Zusätzlich wurde ein visueller Kommunikationskanal zur Adressierung des Übergabepartners, in Form von zwei über Wizard-of-Oz steuerbare Leuchten implementiert. Dafür wurde ein Farbschema entwickelt, welches in eine Farbchoreographie überführt wurde, um die nonverbale Interaktion visuell zu unterstützen.

Für vergleichende Untersuchungen, wurde dem BROMMI:TAK der anthropomorphere ZAR5 gegenübergestellt. ZAR5 ist ein Torso mit zwei-Armen und Händen [BB07], für multimodale Interaktion mit Menschen fehlt dem Roboter aber eine Schnittstelle, die dem Benutzer visuelles Feedback gibt.

2.2 Roboterkopf

Die Gegebenheit, dass uns Gesichter aufgrund der Mensch-Mensch Interaktion so vertraut sind und die Erfahrung, dass konzeptuelle Metaphern bei der Gestaltung intuitiv bedienbarer Produkte ein Hilfsmittel sein können, führt in der HRI dazu, Roboter mit der Metapher eines Gesichts auszustatten, um so die Mensch-Maschine Interaktion zu verbessern.

Dieses Spannungsfeld zwischen sachlicher Gestaltung und Menschenähnlichkeit eines technischen Geräts und der Auswirkung auf das Gelingen einer Interaktion, soll daher mit einem Roboterarm im Zusammenspiel mit einem Roboterkopf weiter untersucht werden. Dafür wurde ein Bildschirm entwickelt, der Mimik interaktiv darstellt. Dieser Bildschirm wurde allerdings nicht flach wie gebräuchliche Tablets, sondern plastisch wie ein Kopf gestaltet, um dem Interaktionspartner auch von der Seite einen größeren Betrachtungswinkel zu bieten. Zudem wurde die Sichtbarkeit des sonnst trennend wirkenden Displayrahmen reduziert.

Der Kopf kann als zusätzliches Teil verstanden werden, welches gleichzeitige Bewegungen ermöglicht, die die Hauptbewegung einer Figur unterstützen, Handlungen andeuten, einleiten oder vorwegnehmen können. Sie machen das Verhalten dadurch besser lesbar und natürlicher [JT81]. Die Wendigkeit des Roboterkopfs und die interaktiven Augenbewegungen, sowie das Mienenspiel können dem Menschen dabei helfen das Verhalten des Manipulators zu antizipieren, indem sie unmittelbar bevorstehende

Handlungen andeutet oder einleitet, aber auch in dem sie Zeitfenster zur Interaktion anzeigt. Darüber hinaus soll die Gesichtsanimation an Kameras und Bilderkennung gekoppelt werden, sodass der Roboter „Blickkontakt“ mit dem Interaktionspartner aufbauen kann.

Darüber hinaus stehen seit Kurzem die Robotersysteme Pepper und Nao zur Verfügung. Diese beiden Roboter weisen humanoide Proportionen, Arme und jeweils einen Kopf auf. Die Körpergrößen variieren zwischen den Systemen allerdings stark und die Ausdrucksfähigkeit der Gesichter ist begrenzt.



Abb. 1: Demonstratoren im MTI-engAge Labor

3 Partizipation und Usability

Neben den durch die Theorie motivierten Entwicklungen bindet das MTI-engAge Team auch die anvisierten Nutzer der zukünftigen Roboter ein. Laut der Norm DIN EN ISO 9241-210 (2010) ist die Beteiligung der Benutzer im Entwicklungsprozess eines technischen und interaktiven Systems explizit gefordert. Die Norm spezifiziert Prinzipien für benutzerorientierte Gestaltungsaktivitäten bei der Entwicklung von Systemen.

Der Einbezug des Nutzers (Partizipation) dient als wertvolle Wissensquelle über den Nutzungskontext und bei der Abschätzung wie spätere Benutzer voraussichtlich mit dem zukünftigen System arbeiten werden. Die Partizipation sollte während des Entwicklungsprozess immer wieder Anwendung finden und setzt somit eine wiederholte Nutzung des Systems (Iteration), in verschiedenen Stadien, voraus.

Die Bedürfnisse des Nutzers sollten im Mittelpunkt der Entwicklung stehen. Dabei stellen sich um Beispiel folgende Fragen:

- Welche Anforderungen, Erwartungen und Bedürfnisse haben die Nutzer an das System?
- Welche Ziele verfolgen sie bei der Nutzung?
- In welchem Kontext wird das Produkt genutzt?

3.1 Usability-Modelle

Das CUE (Components of User Experience)-Modell (Abb.2) von Thüring und Mahlke, 2007 [TM07] in der Usability-Forschung beschreibt das Nutzererleben.

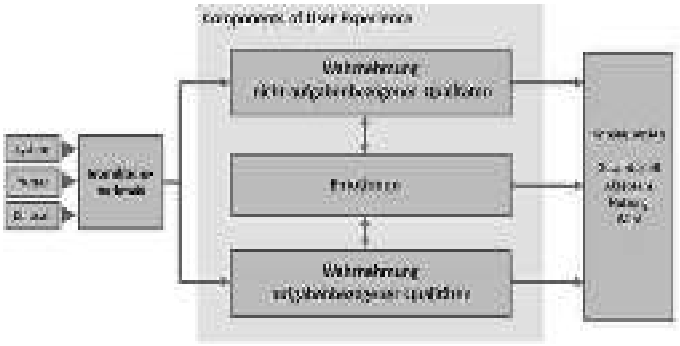


Abb.2: Components of User Experience (CUE) -Modell (aus Thüring et al., 2014 [TM14])

Das CUE-Modell schlüsselt das ganzheitliche Nutzererleben in zusammenwirkende Komponenten auf. Die Eigenschaften des Produkts, die Merkmale des Benutzers selbst, und der Kontext, in dem das Produkt verwendet wird, fließen in die Interaktion mit ein. Das Modell unterscheidet die Wahrnehmung instrumenteller und nicht-instrumenteller Qualitäten. Gemeinsam durch die Wahrnehmung der Qualitäten und Emotionen ergibt sich ein Gesamturteil. Dieses beeinflusst die Nutzungshäufigkeit und die Wahrscheinlichkeit des Erwerbs nachfolgender Systemversionen.

Die zeitlichen und dynamischen Aspekte, die bei der Beschreibung und der Untersuchung des Nutzererlebens eine wichtige Rolle spielen, werden im CUE-Modell nicht berücksichtigt. Diese werden mit Hilfe des Continuous User Experience (ContinUE)-Modell (Abb.3) von Pohlmeyer et al. 2009 [PHB09] herausgearbeitet.

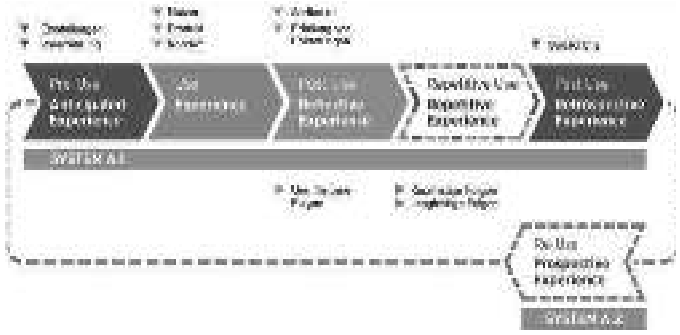


Abb.3: User Experience Lifecycle Modell (ContinUE) (aus Thüring et al., 2014 [TM14])

In diesem Modell wird der gesamte Erlebenszeitraum, in dem ein Nutzer sich mit einem Produkt auseinandersetzt, in sechs Phasen dargestellt. Das Nutzererleben beginnt schon vor der eigentlichen Interaktion, in der Pre-Use-Phase, die durch Vorerfahrungen und Einstellungen des Nutzers geprägt ist. Darauf folgt möglicherweise die Use-Phase, in der die Interaktion mit dem Produkt stattfindet. Wie auch in dem CUE-Modell wird diese Phase durch Nutzermerkmale, Systemeigenschaften sowie Aufgaben und Kontext beeinflusst. In der darauffolgenden Post-Use-Phase erfolgt die Reflektion des Erlebten durch den Nutzer. Die mehrmalige Nutzung eines Produkts wird durch die Repetitive-Use-Phase repräsentiert. In ihr werden die ersten drei Phasen bei jeder erneuten Nutzung wiederholt durchlaufen. Abschließend kann sich der Nutzer in der Post-Use-Phase an seine Eindrücke erinnern und eine generelle Meinung über das System formulieren. Dieses Urteil entscheidet darüber, ob der Nutzer den Erwerb eines Systems, welches vergleichbar mit dem verwendeten ist, in Betracht zieht („Prospective Experience“). Damit schließt sich der Kreis und ein neuer Erlebniszyklus beginnt.

Die beiden vorgestellten Modelle zeigen, dass die Interaktion zwischen einem Menschen und einem technischen System von zahlreichen Faktoren beeinflusst wird und verschiedene Phasen durchläuft. Die Faktoren der ästhetischen Gestaltung des Systems und der User-Schnittstellen sind bei der nutzerorientierten Entwicklung wichtig und sollten deshalb in Experimente einbezogen werden.

4 Nutzerstudien

In Studien können wir die Anwendung der in unserem Labor vorhandenen bzw. entwickelten Systeme und der Prototypen (mit großen oder kleinen Robotern, mit einem oder zwei Armen, ohne oder mit Kopf, ohne oder mit Augenbewegungen, ohne oder mit variierendem Mienenspiel) in der Interaktion mit Nutzern vergleichen und die Systeme dann benutzerorientiert überarbeiten. Die Nutzertests zeigen, wie Nutzer mit dem System zurechtkommen, enthüllen die Usability-Schwachstellen und den momentanen Status-quo auf. Die Befragung der Nutzer über deren mentale Modelle des Systems sowohl vor als

auch nach der Interaktion ermöglicht Erkenntnisse darüber, wie der Mensch die Fähigkeiten des Roboters anhand seiner Erwartungen und Erfahrungen vor und nach der Interaktion einschätzt. Unter mentale Modelle verstehen wir hier eine Sammlung von Annahmen darüber, wie ein System aufgebaut ist und funktioniert. Menschen interagieren auf dieser Grundlage mit dem System. Deshalb beeinflusst das mentale Modell auch das Urteil über und die Akzeptanz des Systems.

Die Nutzereinbindung ermöglicht zudem neue Erkenntnisse in folgenden Themengebieten:

- Anforderungen an die Erscheinung und Individualisierung von Robotern
- Verschmelzung flacher grafischer Benutzerschnittstellen mit dreidimensionalen plastischen Oberflächen (Verkörperte Interaktion)
- Konstruktion und Herstellung von Videoprojektions-Roboterköpfen mit vollständig schrauben- und fugenloser Vorderfläche und randlos ausgeleuchtetem Gesichtsbereich, für weniger mechanisch wirkende Roboter
- Inszenierung von Posen und Bewegungsmustern, Beschleunigung und Abbremsung, Bewegungsdauer, Bewegungsbögen

Wir sehen die frühzeitige Beobachtung und Einbeziehung der Nutzer, sowie die gründliche Auseinandersetzung mit ihren mentalen Modellen als Schlüssel für die Akzeptanz und damit den Erfolg zukünftiger Roboter.

Literaturverzeichnis

[BB07] Boblan I., Bannasch R., Schulz A., Schwenk H.: A human-like robot torso ZAR5 with fluidic muscles: Toward to a common platform for embodied AI. In 50 Years of AI, Lungarella M. et al. (Eds.), Festschrift, LNAI 4850, p. 348-358, 2007, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2007, ISSN 0302-9743, ISBN-10 3-540-77295-2

[JT81] Johnston,O. and Thomas, F: „The Illusion of Life: Disney Animation“; Disney Editions 1981, ISBN-13: 978- 0786860708

[PHB09] Pohlmeyer, A.E.; Hecht, M., Blessing, L.: User Experience Lifecycle Model ContinUE [Continuous User Experience], in A. Lichtenstein, C. Stößel & C. Clemens (Eds.), *Der Mensch im Mittepunkt technischer Systeme. Fortschritt-Berichte VDI Reihe 22 Nr. 29* (pp. 314-317). Düsseldorf, Germany: VDI-Verlag, 2009.

[TM07] Thüring, M. and Mahlke, S.: Usability, aesthetics and emotions in human-technology interaction, International Journal of Psychology, 2007, 42 (4), 253-264.

[TM14] Thüring, M. und Minge, M.: Nutzererleben messen-geht das überhaupt?, Mittelstand-Digital WISSENSCHAFT TRIFFT PRAXIS, Ausgabe 1, S.45-53, 2014.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 723

SozioTex – An interdisciplinary research group

Mario Löhrer[1], Nenja Ziesen[2], Marco Saggiomo[1], Andrea Altepost[1], Niklas Strüver[2], Yves-Simon Gloy[1] and Daniel Houben[2]

Keywords: Participatory Design, Interdisciplinarity

1 Extended Abstract

Being confronted with growing automation and interconnectedness of production lines as well as decreasing relevance of large scale production in favor of smaller lot sizes, the German textile industry has to face tremendous challenges: Not only the technical and economic developments, but also social factors – especially the demographic change – put manifold pressures on the industry, since the proportion of elder workers above 45 years is higher-then-average here [LKL16] and the recruiting of young skilled personnel for tasks in strenuous working conditions as weaving mills remains difficult. Hence, the task is to connect the necessity of technological innovation with existing workplace practices in order to generate new and adequate social courses of action. Obviously, this problem demands technical knowledge as well as expertise in organizational and social developments. Consequently, all these challenges and aspired changes must involve learning processes designed, initiated and accompanied by professionals.

Therefore, an interdisciplinary team of researchers was implemented at the Institute of Textile Technology of RWTH Aachen in order to conduct the project “SozioTex - New socio-technical systems in the textile industry”, granted by the Federal Ministry of Education and research. The project aims at the development and implementation of a digital assistance system for weaving mills, which supports workers heterogeneous in age, gender, qualification and cultural background in adapting to varying contexts and scenarios concerning industry 4.0. In order to provide the transfer to further applications and industrial sectors, a main result of “SozioTex” will be the design of a generic procedure model for related industrial projects.

[1] Institut für Textiltechnik (ITA) der RWTH Aachen University, mario.loehrer@ita.rwth-aachen.de
[2] Institut für Soziologie (IfS) der RWTH Aachen University

doi:10.18420/in2017_70

1.1 Participatory Research Design

To bring forth these goals, the prospective users (managers and employees of three weaving mills in Germany) participated in requirement analysis and design from the very beginning of the project, for example, by taking part in workshops, surveys and group discussions. This participative approach in systems design enables the SozioTex team to utilize of the expertise of the employees and to develop sustainable, apposite solutions [LAB90], [LLD14].

The interdisciplinary research group encompasses three scientific disciplines: engineering, education and sociology. This joint approach to research within SozioTex is justified, since it exceeds the boundaries of the scientific system by involving people working in entrepreneurial companies, which are confronted with the development of assistance systems and the occurring problems as well as the implementation of the system. In regard to the choice of method and profitability [DDS06], the present research is based on a combination of systematic approaches and methodical designs which is derived from the genuine methods of the three disciplines involved.

In SozioTex the major methodical reference is “Systems Engineering”, an engineering approach to analyze and solve problems systematically. It combines systematic thinking and procedure models into a problem-solving system reinforced in engineering sciences. Also, Systems Engineering has similarities to other engineering systematics such as construction systematics for machine construction systems according to VDI guideline 2221 [HWF12].

Based on the logic of the Systems Engineering phase concept, the participatory approach employed in the research project (Figure 1) is explained as follows: In the system engineering phase concept, the processing of a problem situation precedes the phase of a so called “kick-off”. This phase marks the period from the occurrence of a problem to the decision to do something to cope with the problem [HWF12]. As a sign of problem awareness, studies of the last few years can be used, e.g. on demographic change in German society. The results of this scientific study are also found in the preliminary study.

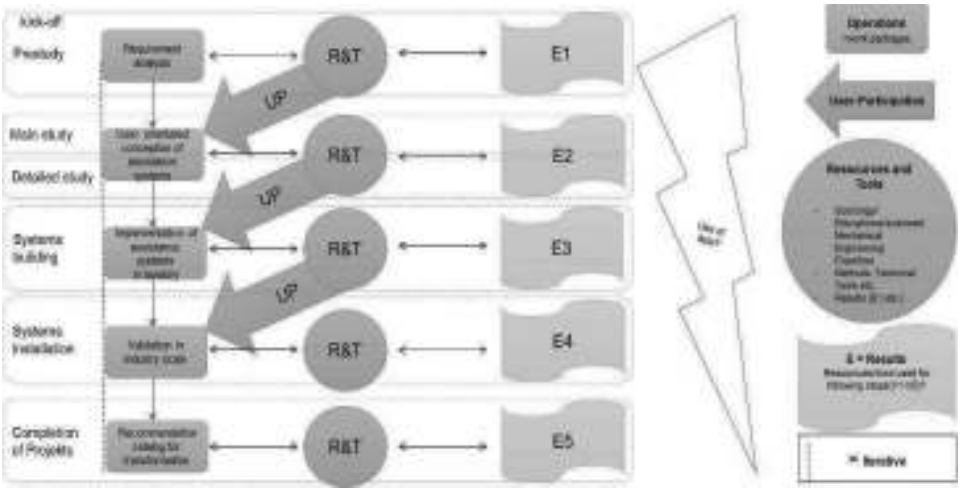


Fig. 1: Methodical approach for designing sociotechnical systems exemplary on assistance systems

This aims to analyze the limitations of the problem and the design area, in this case the German textile production, as well as to identify requirements and to summarize them in a requirement catalog. Then, the main study focuses on the development and refinement of a solution concept by concentrating on the field of observation based on preliminary study.

The supported working processes are systematically analyzed and evaluated in terms of performed manual activities and the use of tools. As a result, critical activities which require support are derived. During this step, the forms of assistance which are suitable for supporting critical activities are examined simultaneously. The results of this step are described in a morphological box, which serves as a springboard for the development of assistance system concepts. Subsequently, a value analysis is conducted to compare and evaluate those concepts. Its results lead to the selection of an assistance system concept to be implemented in the further research of the SozioTex team. Within the framework of the detailed study, the point of view is further narrowed down by carrying out work process- and work place analyses in three weaving companies, with focus on product change as central work process during ongoing work.

By taking into consideration the results of the preliminary main and detail studies, concepts for the overall assistance system with its subcomponents and a qualification concept are developed. At the end of the development phases (preliminary, main, detail studies), concept decisions are made, which are then followed up by further development and implementation steps.

The aim of the system construction is the implementation and evaluation of experimental prototypes. From the synthesis of these prototypes, a complete assistance system is

developed. During the phase of system implementation, the assistance system is realized in a real-world condition lab, the textile learning factory 4.0 in Aachen, Germany where it will be validated in user studies.

A recommendation catalog for the design and implementation of assistance systems with the example of textile production will be drafted as project completion for the transfer of the project results. Furthermore, the implemented assistance system will be used in the learning factory 4.0 for transfer activities such as workshops or training courses beyond the course of the project.

1.2 Conclusion

The interdisciplinary research group SozioTex aims at the participatory development and implementation of a digital assistance system for the attendance of modern weaving machines and connected technical devices in "industrie 4.0" contexts. The assistance system is expected to increase productivity by supporting complex work procedures and to stimulate and accelerate learning processes. A main result of the project is the development of a methodical approach with respect to the concept of systems engineering and with regard to the participation and needs of future users. The first phases of project conducting include the identification of basic requirements and the identification of critical tasks to be supported, as well as weaving-machine related stress factors. A work place and work process analysis investigated necessary functions to support the critical tasks. Central aspects resulting from this study were the integration of machine data and maintenance clues in a homogenous application, a communication function and a platform for knowledge exchange and storage, furthermore, the incorporation of learning-promoting tools for heterogeneous qualification needs.

Relating requirements and critical tasks to suitable forms of assistance, formed the base for deriving possible assistance system concepts. Requested components were identified and a technological concept for the assistance system was selected. Several features, as mentioned above, will be implemented in a unique assistance system. Currently, they are designed in detail and merged into the frame of the assistance system. The next step will consist of testing the prototype of the system with prospective users, in a laboratory context and adapting it with regard to their feedback. Subsequently, further test iterations on the shop floor are designated. Moreover, the work and process organization is presently analyzed and proposals for the support and adaptation of organizational issues, with regard to the assistance system, will be delineated. In combination with a concept for qualification and learning tools, this provides a socio-technical approach for the design and implementation of digital assistance systems in industrial contexts.

The hitherto achieved results confirm that an assistance system for the attendance of weaving machines and supporting the processes it is embedded in should be an appropriate support for learning activities of heterogeneous staffs. Moreover, the SozioTex team found out that communication and knowledge archiving are crucial functions to meet the work conditions and the shortage of skilled workers in the textile industry by e.g. saving the

knowledge of retiring workers and making the job profile more interesting for young successors. Thus, an assistance system designed following these main guidelines should help to sustain the qualification of elder workers and to support young employees in gaining experience knowledge. The exchange of knowledge between young and elder workers, colleagues experienced in intuition concerning the weaving process and such experienced in digital technologies, as well as between experts for different technical and procedural features is stimulated. The members of heterogeneous staffs have the opportunity to contribute their special knowledge and experience for the benefit of the company, as well as the employees. Further research will show if, and under which conditions, they will make use of this.

References

[LKL16] Löhrer, M.; Kerpen, D.; Lemm, J.; Saggiomo, M.; Gloy, Y.-S.: Intelligent assistance systems for industrial textile work environments. In: (Simončič, B.; Tomšič, B.; Gorjanc, M.; Eds.). 16th World Textile Conference AUTEX 2016, 8th – 10th June 2016, Ljubljana, Slovenia. - Ljubljana: Faculty of Natural Sciences and Engineering, Department of Textiles, Graphic Arts and Design, 2016.

[LAB90] Lichtenberg, I.; Altepost, A.; Bracke, K.: Organisations- und Qualifikationsentwicklung bei der Einführung neuer Technologien. Köln: TÜV Rheinland, 1990.

[LLD14] Lemm, J.; Löhrer, M.; Dartsch, N.; Gloy, Y.-S.;Gries, T.; Ziesen, N.; Häußling, R.: Erfolg durch Akzeptanz der Mitarbeiter – intelligente Assistenzsysteme in der Produktion am Beispiel der Textilindustrie In (Weidner, R.; Redlich, T. Hrsg.): Erste transdisziplinäre Konferenz zum Thema Technische Unterstützungssysteme, die die Menschen wirklich wollen. Hamburg; Helmut-Schmidt-Universität, 2014.

[DDS06] Defila, R.; Di Giulio, A.; Scheuermann, M.: Forschungsverbundmanagement. Handbuch für die Gestaltung inter- und transdisziplinärer Projekte. Zürich: vdf Hochschulverlag. S. 5–7. 2006.

[HWF12] Haberfellner R.; de Weck O.; Fricke E.; Vösser S.: Systems Engineering – Grundlagen und Anwendung. Zürich: Orell Füssli Verlag AG (12th edition), 2012.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 729

Human-Machine Integration as Support Relation: Individual and Task-related Hybrid Systems in Industrial Production and Elderly Care – Approach, Development Procedure and Exemplary Technical Systems

Robert Weidner[1], Andreas Argubi-Wollesen, Athanasios Karafillidis and Bernward Otten

Keywords: Support Technologies, interdisciplinary Approach, participatory Approach, Human Aspects, Human Machine Interaction, Wearable Technologies

1 Extended Abstract

The design of interactions between humans and technology – especially with regard to demographic change as well as the more frequent and much more intense relationship of human and technology in many areas of life – is one of the greatest societal challenges right now. Despite the many existing approaches to Human-Machine-Interaction there are still open questions. Many of the relevant issues can be tackled, however, when any design of such relationships conceives of these interactions as relations of support. That is, humans and technology are both designed out of their joint operation in support situations. This sounds odd but it is crucial to acknowledge that both sides are affected when their relation is targeted in the course of technology development. Both do not traverse the interaction unchanged. The human in the loop is not simply the same as the human being dwelling outside such socio-technical arrangements.

Technology is already supporting people in many areas of life. Health prevention is a particularly important domain in this respect. Regarding issues of musculoskeletal disorder/stress (MSE) in an ageing work force, it is common to look at technology for some remedy. Relevant assistive technology will come in different forms and, in broader terms, as different technological artefacts, who reveal their potential in conjunction with its human users and the environment in which they are embedded. They can be substantially characterized in the light of their abilities to support physical or cognitive human tasks. Depending on the task at hand, technical assistive devices and/or robots might take over the activities completely, thus acting oftentimes in a different temporal-spatial field as their human counterparts.

However, these (semi-) automated solutions are often only technically feasible or

[1] Helmut Schmidt University/University of the Federal Armed Forces Hamburg, Laboratory of Manufacturing Technology, Junior Research Group smartASSIST, Holstenhofweg 85, 22043 Hamburg, Germany, Robert.Weidner@hsu-hh.de

doi:10.18420/in2017_71

economically viable for simple and repetitive tasks. Consequently, there are numerous tasks in the world of work and in private environments which still have to be carried out manually because of their complexity or uniqueness. In these areas, where assistive technology acts in close proximity and in collaboration with its user, e.g. in pushing-pulling or lifting tasks, technology and human beings can be seen as a single entity. This is one step further than simply looking for the design of their interaction. Therefore, the decisive challenge in development of these technologies, is not merely the development or the invention of new technology in itself, but a prognostic view of how future technology and humans might interact/integrate and what implications such newly "integrated entities" should have on strategic technology development. The relation between human and technology is not a zero-sum game. More technology does not necessarily mean less human abilities or even outright substitution of the human work force. Unless this becomes clear, the potential of hybrid systems will always be prematurely criticized and thus consistently underestimated.

By designing the timing, coupling, and mutual control of the cognitive abilities and sensorimotor skills of humans on the one hand in immediate connection with the reliability, speed, and force of technical artefacts on the other, we get hybrid embedded systems, deployed in responsible ways with a potential to improve human health. New and promising approaches of technical support include body-related or wearable technical systems, e.g. classic exoskeletons for increasing power or systems for force redirection and support of cognitive structures.

This contribution examines approaches and solutions for the support of ergonomically strenuous or quality critical manual tasks, e.g. in automotive, aircraft, and industry. Based on task dependent requirements and the approach of Human Hybrid Robot (including a construction kit systematic) different context-adapted solutions are described. These include wearable systems for tasks at or above head level with handling of tools or components as well as stationary systems for supporting quality-critical tasks in form of manual workstations. Moreover, the development of such user centered systems requires a participatory approach in order to increase the probability of acceptance and usability. Therefore, we will also describe some critical steps for facilitating this form of technology development. The most essential part in developing systems that are worn just like clothes, is user integration to the development process. Physical interaction reaches a level not seen before in the development of technology. Success is achieved when the user feels comfortable with the system. This necessitates a proper design of hardware to give the user the necessary freedom of movement and accompanying software to know or detect what the user wants and make the system act accordingly. For both aspects of the development process, there is currently little knowledge in to what the user wants and there are many dependencies between the capabilities of different hardware and software modules, making it harder to develop components independently. Therefore it is necessary to create frequent minimum viable prototypes, which present the potential user with a satisfactory user experience. It is very difficult to obtain feedback from the user for specific features of hybrid (exoskeletal) systems, as deficits in some areas (especially comfort) will overshadow every other aspect. In order to overcome this challenge a rapid

prototyping workflow (3D-printing, prebuilt mechatronic assemblies etc.) are indispensable in order to generate satisfactory prototypes in a viable timeframe and to get meaningful user feedback.

Keys4All – Herausforderungen von Schlüsselverzeichnissen für die E-Mail-Verschlüsselung

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 735

Keys4All – Herausforderungen von Schlüsselverzeichnissen für die E-Mail-Verschlüsselung

Matthias Enzmann[1], Annika Selzer[1], Melanie Volkamer[2] und Ulrich Waldmann[1]

Auch mehr als dreißig Jahre nach Erfindung asymmetrischer Verschlüsselungsverfahren finden jene kryptographischen Verfahren längst nicht überall dort Anwendung, wo sie die Bevölkerung vor weltweit stattfindenden Massenüberwachungen schützen könnten. Grund hierfür waren bisher primär Schwierigkeiten bei der Verbreitung von Verschlüsselungsschlüsseln sowie die fehlende Benutzerfreundlichkeit von Lösungsansätzen. Laientaugliche Lösungen, die zum Schutz der weltweiten Kommunikation beitragen, sind daher längst überfällig.

Der Workshop Keys4All hat sich zum Ziel gemacht, Wissenschaftler und Praktiker aus verschiedenen Disziplinen zusammenführen, um Möglichkeiten und Grenzen technischer und rechtlicher Lösungen zu diskutieren.

Für die Vorschläge des geladenen Vortrags und die Begutachtung der eingereichten Beiträge danken wir den Mitgliedern des Programmkomitees:

- Dr. Matthias Enzmann, Fraunhofer SIT
- Dipl.-Inform. Marit Hansen, ULD
- Dr. Birgit Henhapl, TU Darmstadt
- Prof. Dr. Alexander Roßnagel, Universität Kassel
- Prof. Dr. Melanie Volkamer, Universität Karlstad und TU Darmstadt
- Prof. Dr. Michael Waidner, TU Darmstadt und Fraunhofer SIT

Die Organisatoren bedanken sich beim Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) und dem Hessisches Ministerium für Wissenschaft und Kunst (HMWK) für die Förderung folgender Projekte, die den Keys4All-Workshop gemeinsam veranstalten:

- „Vertrauenswürdige Verteilung von Verschlüsselungsschlüsseln – VVV“ und
- „Benutzerfreundliche vertrauliche und authentische Kommunikation“ im Rahmen von CRISP.

[1] Fraunhofer-Institut für Sichere Informationstechnologie (SIT), vorname.nachname@sit.fraunhofer.de
[2] Universität Karlstad und Technische Universität Darmstadt, melanie.volkamer@secuso.org

doi:10.18420/in2017_72

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 737

Verfahren zur vertrauenswürdigen Verteilung von Verschlüsselungsschlüsseln

Peter Fischer[1], Thomas Kunz[2], Katharina Lorenz[3], Ulrich Waldmann[4]

Abstract: Ein Grund für die geringe Verbreitung der E-Mail-Verschlüsselung liegt darin, dass viele Nutzer, die ihre E-Mails verschlüsseln möchten, nicht wissen, wie sie evtl. existierende Verschlüsselungsschlüssel der gewünschten Empfänger finden und einen gefundenen Schlüssel vor seiner Nutzung auf Herkunftsechtheit und Aktualität überprüfen können. Dieser Beitrag beschreibt ein Verfahren der Schlüsselverteilung auf Grundlage von „DNS Security Extensions" (DNSSEC). Das Verfahren ermöglicht Nutzern einen einfachen Zugang zu vertrauenswürdigen Schlüsseln. Dazu veröffentlichen die Nutzer ihre öffentlichen Schlüssel auf einem Schlüsselverzeichnis ihres E-Mail-Anbieters. Die Betreiber des zugehörigen DNS-Servers stellen gesicherte Informationen über das jeweilige Schlüsselverzeichnis zur Verfügung. Mittels einer Erweiterung der E-Mail-Anwendung wird der für eine E-Mail-Kommunikation benötigte öffentliche Schlüssel eines Kommunikationspartners automatisch ermittelt. Dazu ist ausschließlich die Angabe der E-Mail-Adresse des Empfängers notwendig.[5]

Keywords: E-Mail, Verschlüsselung, DNS, DNSSEC, OpenPGP, S/MIME, HKP, LDAP

1 Bedarf einer sicheren E-Mail-Kommunikation

Der Wunsch nach einer sicheren E-Mail-Kommunikation ist in der Bevölkerung nicht zuletzt aufgrund der Enthüllungen von Edward Snowden über die weltweite Massenüberwachung der Onlinekommunikation durch die Geheimdienste in den vergangenen Jahren stark gestiegen. Viele Bürger fragen sich, wie sie sich vor dieser Massenüberwachung schützen können und auf vertrauliche Weise über das Internet kommunizieren können [HSW16a, HSW16b].

Das Prinzip der Ende-zu-Ende-Verschlüsselung garantiert einen wirksamen Schutz gegen die Massenüberwachung. Bei der Ende-zu-Ende-Verschlüsselung wird eine Nachricht auf dem Rechner des Senders verschlüsselt und kann nur vom Empfänger auf dessen Rechner entschlüsselt werden. Insbesondere können keine weiteren Instanzen wie beispielsweise

[1] Heinlein Support GmbH, Schwedter Straße 8/9A, 10119 Berlin, p.fischer@heinlein-support.de
[2] Fraunhofer SIT, Rheinstr. 75, 64295 Darmstadt, thomas.kunz@sit.fraunhofer.de
[3] Design Research Lab, Universität der Künste, Einsteinufer 43, 10587 Berlin, k.lorenz@udk-berlin.de
[4] Fraunhofer SIT, Rheinstr. 75, 64295 Darmstadt, ulrich.waldmann@sit.fraunhofer.de
[5] Dieser Beitrag entstand im Rahmen des Projekts „Vertrauenswürdige Verteilung von Verschlüsselungsschlüsseln (VVV)" (`https://keys4all.de`), das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) auf Grundlage des Forschungsrahmenprogramms der Bundesregierung zur IT-Sicherheit „Selbstbestimmt und sicher in der digitalen Welt" unter dem Förderkennzeichen 16KIS0354K gefördert wird.

doi:10.18420/in2017_73

E-Mail-Server die Nachrichten entschlüsseln. Die einer Ende-zu-Ende-Verschlüsselung zugrunde liegenden Verfahren sind seit vielen Jahren etabliert und in gängigen E-Mail-Anwendungen integriert. Sie beruhen auf asymmetrischen kryptografischen Verfahren wie RSA, bei denen jeder Kommunikationspartner über ein Schlüsselpaar, bestehend aus einem öffentlichen Schlüssel und einem privaten Schlüssel, verfügt. Der öffentliche Schlüssel darf veröffentlicht werden und dient der Verschlüsselung einer Nachricht. Die verschlüsselte Nachricht kann ausschließlich mit dem dazugehörigen privaten Schlüssel wieder entschlüsselt werden. Daher darf der private Schlüssel nur seinem Besitzer bekannt sein und Dritten nicht zugänglich sein.

Obwohl die Möglichkeit der Ende-zu-Ende-Verschlüsselung in vielen E-Mail-Anwendungen integriert ist, ist deren Ausgestaltung nur wenig benutzungsfreundlich. Viele Nutzer wissen nicht, wie sie das dazu notwendige Schlüsselpaar erzeugen und dieses in eine E-Mail-Anwendung einbinden können. Hinzu kommt das Problem der Schlüsselverteilung: Der Sender einer E-Mail benötigt den öffentlichen Schlüssel des Empfängers. Typischerweise werden die öffentlichen Schlüssel in sogenannten Verzeichnisdiensten veröffentlicht. Allerdings lässt sich in einigen E-Mail-Anwendungen nur ein einziger Verzeichnisdienst konfigurieren. Doch welcher ist der richtige Verzeichnisdienst, in dem der Schlüssel genau dieses Empfängers zu finden ist? Verzeichnisdienste stellen Insellösungen dar, die nicht miteinander verbunden sind. Für den Nutzer ist es schwer zu entscheiden, ob der Empfänger einen Schlüssel besitzt und von welchem Verzeichnisdienst der öffentliche Schlüssel ggf. heruntergeladen werden kann.

Dieser Beitrag befasst sich mit dem Problem der Schlüsselverteilung und stellt dafür ein das neue Verfahren „Vertrauenswürdige Verteilung von Verschlüsselungsschlüsseln“ (VVV) vor, das im Folgenden VVV-Verfahren genannt wird. Dabei stehen zwei Ziele im Fokus: (1) Wodurch können die Speicherorte der Schlüssel eindeutig bestimmt werden? (2) Wie kann die Schlüsselverteilung benutzungsfreundlich und sicher umgesetzt werden?

In Abschnitt 2 wird dargelegt, wie die Verteilung von Schlüsseln derzeit bei den Verschlüsselungsverfahren S/MIME und OpenPGP erfolgt und warum diese ungenügend sind. Abschnitt 3 präsentiert das VVV-Verfahren. Abschnitt 4 zeigt eine prototypische Implementierung dieses Verfahrens. Anschließend werden in Abschnitt 5 alternative Verfahren zur Schlüsselverteilung vorgestellt. Der Beitrag endet mit einem Fazit.

2 Herkömmliche Verfahren der Schlüsselverteilung

Möchte ein Nutzer eine verschlüsselte E-Mail versenden, benötigt er den öffentlichen Schlüssel des Empfängers. Die beiden verbreitetsten Verfahren zur E-Mail-Verschlüsselung sind S/MIME [RT10] und OpenPGP [Ca07]. Diese Verfahren sind hinsichtlich der eingesetzten Schlüsselformate und Vertrauensmodelle nicht zueinander kompatibel. Beide Verfahren haben zudem das Problem, dass ihre Verfahren zur Schlüsselverteilung kompliziert und wenig benutzungsfreundlich sind. So kommt es beispielsweise zum Konflikt, wenn der Sender

und der Empfänger jeweils unterschiedliche Verfahren nutzen oder wenn der Sender eine E-Mail an mehrere Empfänger adressiert, von denen einige nur einen OpenPGP-Schlüssel und andere nur einen Schlüssel für S/MIME besitzen. Die E-Mail kann dann nicht versendet werden, weil jede E-Mail nur auf eine Weise (OpenPGP oder S/MIME) verschlüsselt werden kann.

2.1 Verteilung von S/MIME-Schlüsseln

Das S/MIME-Verfahren verwendet X.509-Zertifikate,[6] die typischerweise über LDAP-Verzeichnisdienste bereitgestellt werden. Hierzu muss der Sender einer E-Mail allerdings die Adresse desjenigen Verzeichnisdienstes kennen, in dem das Zertifikat des E-Mail-Empfängers zu finden ist, und diese in seiner E-Mail-Anwendung konfigurieren. Zudem muss der E-Mail-Sender der Zertifizierungsstelle, die den Schlüssel signiert hat, vertrauen, dass sie die Identität des Zertifikatsinhabers korrekt geprüft hat. Denn nur so kann der Nutzer sicher sein, dass das Zertifikat auch wirklich der Person gehört, der er eine verschlüsselte E-Mail senden möchte. Allerdings ist die Zertifizierungsstelle dem Sender der E-Mail nicht notwendigerweise bekannt und es ist unklar, weshalb er der digitalen Signatur einer ihm unbekannten Zertifizierungsstelle vertrauen sollte. Damit ist für den Sender auch fraglich, ob ein vorliegendes Zertifikat wirklich zum behaupteten Empfänger gehört.

In der Regel betreibt jede Zertifizierungsstelle ihren eigenen Verzeichnisdienst. Diese Verzeichnisdienste stellen „Insellösungen“ dar, d. h. sie sind in der Regel nicht untereinander vernetzt und somit nicht in der Lage, selbstständig in anderen Verzeichnisdiensten nach einem Zertifikat zu suchen, falls sie selbst eine Anfrage nach einem Zertifikat nicht beantworten können. Die E-Mail-Anwendung müsste also selbst ggf. in mehreren Verzeichnisdiensten nach dem Zertifikat suchen. Einige E-Mail-Anwendungen können dies jedoch nicht, da sie nur einen einzigen (aktiven) Verzeichnisdienst unterstützen. Nahezu unmöglich ist aus diesem Grund das Senden einer verschlüsselten E-Mail an mehrere Empfänger, wenn deren Zertifikate in jeweils unterschiedlichen Verzeichnisdiensten abgelegt sind.

Um die Probleme in Zusammenhang mit Verzeichnisdiensten zu umgehen, können die potentiellen Empfänger einer E-Mail in einem ersten Schritt zunächst dem Sender ihre Zertifikate übermitteln (z. B. persönliche Übergabe), allerdings ist dieser Weg ebenfalls nicht sehr benutzungsfreundlich und verhindert zudem das spontane Senden einer verschlüsselten E-Mail an einen Empfänger, dessen Zertifikat der Sender noch nicht hat.

[6] X.509-Zertifikate werden von einer Zertifizierungsstelle ausgestellt. Sie enthalten u. a. den öffentlichen Schlüssel des Nutzers und eine Signatur der Zertifizierungsstelle.

2.2 Verteilung von OpenPGP-Schlüsseln

Bei OpenPGP beglaubigen die Nutzer gegenseitig ihre öffentlichen Schlüssel und Identitäten, indem sie den Schlüsseln ihrer Kommunikationspartner ihre Benutzerkennung (User-ID)[7] und Signatur hinzufügen, und teilen sich ihre öffentlichen Schlüssel in der Regel auch gegenseitig mit. Dieses Verfahren ist für viele Nutzer jedoch nur schwer zu verstehen. Das gewonnene Vertrauen durch die gegenseitige Beglaubigung von Schlüsseln ist zudem begrenzt, da die User-IDs der Nutzer, die einen öffentlichen Schlüssel beglaubigt haben, oftmals unbekannt sind.

Als Alternative zu dem direkten Austausch von öffentlichen Schlüsseln zwischen den Nutzern können Nutzer ihre öffentlichen Schlüssel auf vorhandenen Schlüssel-Servern (sogenannten HKP-Servern)[8] veröffentlichen. Hierdurch entstehen jedoch einige Sicherheits- und Datenschutzprobleme. Im Gegensatz zu S/MIME-Zertifikaten, die von der Zertifizierungsstelle nach erfolgreicher Identitätsprüfung in dem Verzeichnisdienst veröffentlicht werden, veröffentlichen bei OpenPGP die Nutzer ihre öffentlichen Schlüssel selbst. Eine Identitätsprüfung findet nicht statt. Daher können auch Angreifer Schlüssel mit beliebigen E-Mail-Adressen erstellen und veröffentlichen oder Nutzer können irrtümlicherweise einen falschen Schlüssel auf dem Schlüssel-Server veröffentlichen. Für einen Nutzer, der einen Schlüssel über einen Schlüssel-Server bezieht, ist zunächst die authentische Herkunft nicht feststellbar. Der Nutzer muss eine Prüfsumme (Fingerprint) des Schlüssels mit dem Fingerprint vergleichen, den der wahre Eigentümer des Schlüssels ihm auf anderem Wege (z. B. persönlich oder telefonisch) mitgeteilt hat. Da diese Prüfung der Fingerprints nicht zwangsweise stattfindet, sind auch die mit diesen Schlüsseln erzeugten digitalen Signaturen nicht per se vertrauenswürdig.

Ein Datenschutzproblem besteht darin, dass anhand der Beglaubigungen eines öffentlichen Schlüssels die Kommunikationspartner des Schlüsselinhabers (der „soziale Graph“) rekonstruiert werden können. Zudem kann das Veröffentlichen des Schlüssels zu einem erhöhten Spam-Aufkommen führen, weil mit dem Schlüssel auch die E-Mail-Adresse veröffentlicht wird.

3 Verfahren für die vertrauenswürdige Verteilung von Schlüsseln

Das in diesem Abschnitt vorgestellte VVV-Verfahren ermöglicht es E-Mail-Anbietern, OpenPGP-Schlüssel und X.509-Zertifikate ihrer Kunden auf Anbieter-eigenen Schlüssel-Servern auf einheitliche Weise zu veröffentlichen und die Adressen der verwendeten Schlüssel-Server auf dem DNS-Server der E-Mail-Domain bekannt zu machen. Damit können beliebige Nutzer über die E-Mail-Adressen ihrer gewünschten Kommunikationspartner leicht deren Schlüssel für die E-Mail-Verschlüsselung finden.

[7] Eine User-ID besteht typischerweise aus Vorname, Nachname und E-Mail-Adresse.
[8] HKP steht für „OpenPGP HTTP Keyserver Protocol“ [Sh03].

3.1 Verteilung von Schlüsselinformationen über DNS

Weder bei S/MIME noch bei OpenPGP existiert eine direkte Verbindung zwischen der E-Mail-Adresse eines Nutzers oder der Domain des E-Mail-Anbieters und dem Speicherort des öffentlichen Schlüssels des Nutzers. Daher ist es nicht möglich, von einer E-Mail-Adresse oder Domain auf die Lokation eines dazugehörigen öffentlichen Schlüssels zu schließen.

Allerdings gibt es mit dem „Domain Name System“ (DNS) ein standardisiertes, etabliertes und auch stabiles System, welches neben dem Auflösen von Domains in IP-Adressen auch als Basis für die Verteilung von Schlüsselinformationen anhand von Domains dienen kann. Solche Domain-Informationen werden als DNS-Einträge in Form von so genannten „Resource Records“ auf dem für die Domain zuständigen DNS-Server abgelegt. Das DNS ermöglicht also eine direkte Verbindung zwischen der E-Mail-Adresse eines Nutzers und Informationen, die in den Resource Records der E-Mail-Domain liegen.

Zur Absicherung von DNS, welches selbst nur unzureichende Sicherheitsmechanismen bietet und daher als relativ leicht angreifbar und kompromittierbar gilt, wurden als Erweiterung die „DNS Security Extensions“ (DNSSEC) [Ar05a] entwickelt und stellen die notwendige Grundlage für die Verteilung von Schlüsselinformationen dar. Dieser Standard dient der Absicherung von DNS mittels kryptografisch signierter Ressource Records [Ar05b] und wird inzwischen von vielen Providern unterstützt. DNSSEC sieht vor, dass die Ressource Records mit dem privaten Schlüssel des jeweiligen Domain-Inhabers signiert werden. Die digitalen Signaturen werden in einem speziellen Ressource Record abgelegt. Der Hashwert des dazugehörenden öffentlichen Schlüssels wird mit dem privaten Schlüssel der übergeordneten Domain signiert, dieser Hashwert zusammen mit der Signatur sind in Ressource Records in der übergeordneten Domain zu finden. Dieses Prinzip setzt sich fort bis zu der sogenannten Root-Domain. Beispielsweise ist der öffentlichen Schlüssel der Domain *example.org* mit dem privaten Schlüssel der Domain *org* signiert und der öffentliche Schlüssel von *org* wiederum mit dem privaten Schlüssel der Root-Domain. Auf diese Weise entsteht eine eindeutige Vertrauenskette von signierten Schlüsseln der Domain-Inhaber, vergleichbar mit denjenigen Vertrauensketten bei hierarchischen Public-Key-Infrastrukturen (PKI). Im Gegensatz zu PKIs gibt es bei DNSSEC jedoch nur eine einzige Root-Domain.

Ressource Records können mittels DNSSEC zwar digital signiert werden, eine Verschlüsselung von Ressource Records ist jedoch nicht vorgesehen. Daher erscheint DNSSEC ungeeignet, die Zertifikate von Nutzern direkt in Ressource Records abzulegen, da Zertifikate personenbezogene Daten wie Name und E-Mail-Adresse enthalten können. Über DNSSEC können allerdings stattdessen Informationen über den Verzeichnisdienst oder Schlüssel-Server übermittelt werden, von dem das Zertifikat eines Nutzers abgerufen werden kann.

3.2 Anwendungsfälle des VVV-Verfahrens

Die beiden wichtigsten Anwendungsfälle der Schlüsselverteilung sind das Veröffentlichen und das Abrufen von Schlüsseln. Nutzer veröffentlichen mit Hilfe des VVV-Verfahrens ihre eigenen öffentlichen Schlüssel. Sie werden mittels der VVV-Lösung für andere Nutzer automatisch abrufbar, so dass sich alle Nutzer die Schlüssel ihrer Kommunikationspartner leicht beschaffen können.

Möchte der Nutzer zu seiner E-Mail-Adresse einen Verschlüsselungsschlüssel veröffentlichen, so wählt er über die E-Mail-Anwendung seinen Schlüssel im Schlüsselspeicher bzw. Zertifikatsspeicher aus. Anhand der zugehörigen E-Mail-Domain prüft die Anwendung, ob der E-Mail-Anbieter eine DNSSEC-geschützte Veröffentlichung von Schlüsseln anbietet. Dies wird daran erkannt, dass Resource Records mit Informationen zu den entsprechenden Schlüssel-Servern auf dem DNS-Server der E-Mail-Domain vorliegen.

Zur Veröffentlichung des Schlüssels muss der Nutzer gegenüber dem E-Mail-Anbieter nachweisen, dass er auf das E-Mail-Postfach Zugriff hat. Die E-Mail-Anwendung vermittelt die Nutzer-Authentifizierung über HTTPS, wobei der Nutzer die E-Mail-Adresse (Benutzerkonto) und ein Passwort angeben muss, und sendet nach erfolgreicher Authentifizierung den ausgewählten Schlüssel zur Veröffentlichung an den E-Mail-Anbieter. Der Nutzer muss nun den Besitz des zugehörigen privaten Schlüssels nachweisen. Dazu verschlüsselt der E-Mail-Anbieter mit dem empfangenen öffentlichen Schlüssel einen Verifikationscode. Die E-Mail-Anwendung entschlüsselt den Verifikationscode mit dem zugehörigen privaten Schlüssel. Nach erfolgreicher Entschlüsselung sendet die Anwendung den Verifikationscode an den E-Mail-Anbieter zurück. War der Nachweis erfolgreich, so veröffentlicht der E-Mail-Anbieter den Schlüssel auf einem seiner Schlüssel-Server. Falls auf dem Schlüssel-Server bereits ein Schlüssel für das gleiche Verfahren vorliegt, wird der bisherige Schlüssel gelöscht und durch den neuen Schlüssel ersetzt. Der Nutzer kann aber auch einen veröffentlichten Schlüssel ersatzlos auf dem Schlüssel-Server löschen.[9]

Das Szenario der Schlüsselsuche für die E-Mail-Verschlüsselung zeigt Abbildung 1. Der Nutzer verfasst in seiner E-Mail-Anwendung eine E-Mail und hat die E-Mail-Verschlüsselung aktiviert. Sobald er eine vollständige E-Mail-Adresse in das Empfängerfeld eingetragen hat, sucht die Anwendung mit der E-Mail-Adresse nach dem entsprechenden Schlüssel des Empfängers. Dazu fragt die Anwendung das DNS nach der DNS-Server-Adresse der E-Mail-Domain des Empfängers und ruft mit dieser Information vom DNS-Server des E-Mail-Anbieters des Empfängers die entsprechenden Resource Records ab (Schritt 1). Die Anwendung überprüft die DNSSEC-Signaturen dieser Records (Schritt 2). Konnten die Server-Adressen auf diese Weise verifiziert werden, so sucht die Anwendung anhand der E-Mail-Adressen auf den Schlüssel-Servern und ruft die Schlüssel der Empfänger ab

[9] Das Löschen könnte aus verschiedenen Gründen vom Nutzer gewollt sein, beispielsweise weil der private Schlüssel kompromittiert wurde oder weil der Nutzer mit seiner E-Mail-Adresse nicht mehr in einem offen zugänglichen Verzeichnis stehen möchte. Das Löschen ist also nicht unbedingt mit einem Widerruf des Schlüssels gleichzusetzen.

(Schritt 3). Schließlich wird die E-Mail für die Empfänger verschlüsselt und abgesendet (Schritt 4).

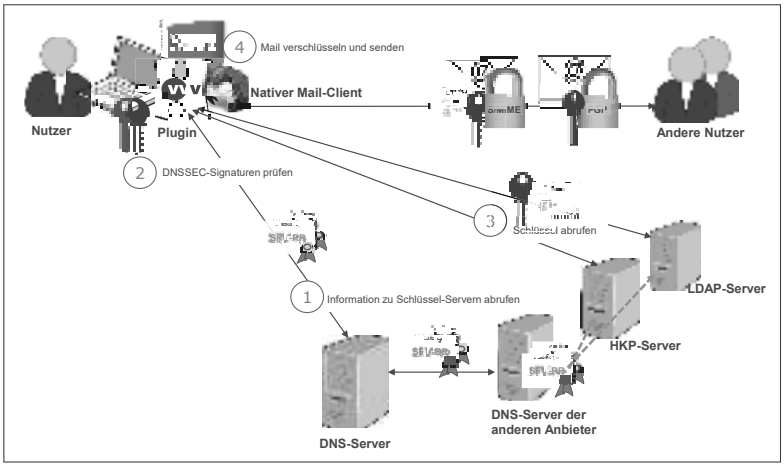


Abbildung 1: Gezielte Suche nach Verschlüsselungsschlüsseln

3.3 Erweitertes Vertrauensmodell des VVV-Verfahrens

Das VVV-Verfahren veröffentlicht die Information darüber, welcher Schlüssel zu welchem Nutzer gehört, indem der E-Mail-Anbieter so genannte „Service Resource Records“ gemäß RFC 6335 [Co11] auf dem DNS-Server der E-Mail-Domain bereitstellt. Die Records geben die authentischen Speicherorte der Zertifikate und Schlüssel an und sind vom E-Mail-Anbieter DNSSEC-signiert. Die E-Mail-Anwendung kann die Authentizität der Resource Records durch die Validierung der DNSSEC-Signaturen überprüfen. Die Informationsübertragung – einschließlich Veröffentlichung und Abruf der Schlüssel – wird durch kryptografisch gesicherte Dienste (DNSSEC, HTTPS, LDAPS) erbracht.

Das Verfahren gründet sich auf das Vertrauen, das Nutzer zur Internetfunktionalität (DNS), zu E-Mail-Adressen und deren Anbietern haben. Die Mechanismen des Web-of-Trust für OpenPGP bzw. der hierarchischen CA-Signaturen für S/MIME, die bei der herkömmlichen Veröffentlichung und Verifikation von Schlüsseln eine große Rolle spielen, sind bei diesem DNSSEC-basierten Verfahren von geringerer Bedeutung. Der E-Mail-Anbieter hat nun die entscheidende Rolle inne, da er für die Zuordnung von den Schlüsseln zu den E-Mail-Adressen der Nutzer bürgt. Damit brauchen die Nutzer nur solchen Instanzen zu vertrauen, denen sie beim Gebrauch von E-Mail-Adressen ohnehin vertrauen: Den Betreibern der grundlegenden Internetdienste (z. B. DNS) und den E-Mail-Anbietern. Nach diesem Vertrauensmodell ist es unerheblich, ob ein OpenPGP-Schlüssel die User-IDs anderer vertrauter Nutzer enthält oder ob ein X.509-Zertifikat von einer anerkannten Zertifizierungsstelle signiert wurde.

4 Prototypische Implementierung

Die E-Mail-Anwendung ist aus Nutzersicht die zentrale Komponente der E-Mail-Kommunikation. Das im vorigen Abschnitt beschriebene Verfahren wird beispielhaft in Form einer Erweiterung (Plugin) der E-Mail-Anwendung *Thunderbird*[10] implementiert. Teil der Lösung ist das frei erhältliche Programm *GnuPG*,[11] mit dem OpenPGP-Schlüssel erstellt und verwaltet werden. GnuPG ist die Verschlüsselungskomponente, welche im Hintergrund von E-Mail-Anwendungen das Ver- und Entschlüsseln mittels OpenPGP unterstützt.

4.1 Technische Umsetzung des Verfahrens

Im Folgenden werden die wesentlichen Komponenten vorgestellt, die in der prototypischen Implementierung zum Einsatz kommen.

Plugin. Zum Versenden einer verschlüsselten E-Mail muss der Nutzer in der E-Mail-Anwendung die Verschlüsselung aktivieren und die vollständige E-Mail-Adresse des gewünschten Kommunikationspartners in das Adressfeld eintragen. Das Plugin sorgt für die Beschaffung des für die Verschlüsselung notwendigen öffentlichen Schlüssels des Empfängers von einem Schlüssel-Server des betreffenden E-Mail-Anbieters. Das Plugin vermittelt zwischen der E-Mail-Anwendung mit der zugehörigen Kryptokomponente GnuPG und den Servern (DNS-Server, HKP-Server, LDAP-Server) der E-Mail-Anbieter. Es übergibt die ermittelten öffentlichen Schlüssel im Fall von OpenPGP an die GnuPG-Komponente und im Fall von S/MIME direkt an Thunderbird.

DNS-Resolver. Das Verfahren setzt beim TLS-gesicherten Abruf eines Schlüssels von einem Schlüssel-Server eine Absicherung der TLS-Zertifikate auf Grundlage von DNSSEC / DANE gemäß RFC 6698 [HS12] voraus. Das Plugin besitzt die Funktionalität eines DNSSEC-konformen rekursiven DNS-Resolvers, kann also selbstständig die Resource Records der gesamten Vertrauenskette ermitteln und auswerten, um die DNSSEC-Signaturen zu validieren. Bei der Installation des Plugins werden die öffentlich verfügbaren Schlüssel der DNS-Root-Zone vorinstalliert, um dem Plugin in der Anwendung als Sicherheitsanker für die Verifikation der DNSSEC-Signaturen zur Verfügung zu stehen, vgl. Abschnitt 3.1.

DNS-Einträge. Die Service Resource Records mit den Informationen zu den HKP-Servern und LDAP-Servern werden auf dem DNS-Server unter der entsprechenden E-Mail-Domain bereitgestellt. Sie enthalten u. a. Angaben zu Netzwerkprotokoll, Adresse und Port, unter denen der Dienst angeboten wird, und schreiben die verschlüsselte Datenübertragung vor, wie es auch andere „private HKP-Dienste“ tun.[12] Der DNS-Eintrag für einen HKP-Server der E-Mail-Domain *mailbox.org* sieht beispielsweise so aus:

[10] `https://www.mozilla.org/de/thunderbird/`

[11] `https://www.gnupg.org/`

[12] Siehe Einstellungen des privaten HKP-Servers `https://sks.spodhuis.org`.

List. 1: Beispiel eines Service Resource Records für HKP

```
_hkps._tcp.mailbox.org 3600 IN SRV 0 0 443 pgp.mailbox.org
```

Schlüssel-Server. Die Veröffentlichung von OpenPGP-Schlüsseln erfolgt mit der TLS-gesicherten Variante des „HTTP Keyserver Protocols“ (HKP) [Sh03]. Im Gegensatz zu verbreiteten HKP-Implementierungen ist keine Synchronisation mit anderen HKP-Servern vorgesehen, da immer nur auf die Schlüssel-Server des jeweiligen E-Mail-Anbieters zugegriffen werden soll. Eine Synchronisation dieser Schlüssel-Server mit anderen HKP-Servern könnte beispielsweise dazu führen, dass die Schlüssel nicht exakt mit denen übereinstimmen, die der Nutzer ursprünglich veröffentlichen ließ. Zertifikate für S/MIME werden mittels des LDAP-Protokolls [Se15] veröffentlicht. Die TLS-Zertifikate zur Kommunikation mit HTTPS bzw. LDAPS sind auf Grundlage von DNSSEC / DANE abgesichert.

4.2 Benutzungsfreundliche Sicherheit

Um Nutzern einen intuitiven Umgang mit der Anwendung und somit einen unkomplizierten Zugang zu vertrauenswürdigen Verschlüsselungsschlüsseln zu ermöglichen, spielt die Gestaltung der Nutzeroberfläche eine bedeutende Rolle. Daher werden unterschiedliche Nutzergruppen in allen Phasen des Gestaltungs- und Entwicklungsprozesses mit einbezogen. Mithilfe dieser Nutzergruppen wurden grundlegende Anforderungen für das Bedienkonzept des Plugins ermittelt, welches im Wesentlichen auf drei Kernelementen basiert.

Startseite. Bei der Erstnutzung wird der Nutzer auf der Startseite des Plugins begrüßt. Er erhält hier einen kurzen Überblick über Zweck und Funktionalität des Plugins. Außerdem können weiterführende Links, Erklärungen oder Videos angeboten werden, um das Thema „E-Mail-Verschlüsselung“ anschaulicher aufzubereiten. Von der Startseite aus gelangt der Nutzer direkt zur Schlüsselverwaltung, um seine öffentlichen Schlüssel zu veröffentlichen.

Schlüsselverwaltung. In der Schlüsselverwaltung kann der Nutzer seine eigenen öffentlichen Schlüssel veröffentlichen, siehe Abbildung 2. Aus Nutzersicht gehören dazu folgende Schritte: (1) Über einen Einwilligungstext zum Datenschutz erfährt der Nutzer, was mit seinen Daten passiert, also welche Daten zu welchem Zweck, wo und wie lange gespeichert werden.[13] (2) Der Nutzer wählt aus einer Übersicht die Schlüssel für die Veröffentlichung aus. (3) Der Nutzer gibt das Passwort des jeweiligen E-Mail-Kontos ein und falls erforderlich das Passwort des zugehörigen privaten Schlüssels. (4) Durch visuelles Feedback wird dem Nutzer signalisiert, dass die Schlüssel erfolgreich veröffentlicht wurden.

[13] Siehe Kapitel 3.2.1 im Beitrag „Anforderungen des künftigen europäischen Datenschutzrechts an die vertrauenswürdige Verteilung von Verschlüsselungsschlüsseln“ von S. Blazy, S. Gonscherowski und A. Selzer in diesem Konferenzband.

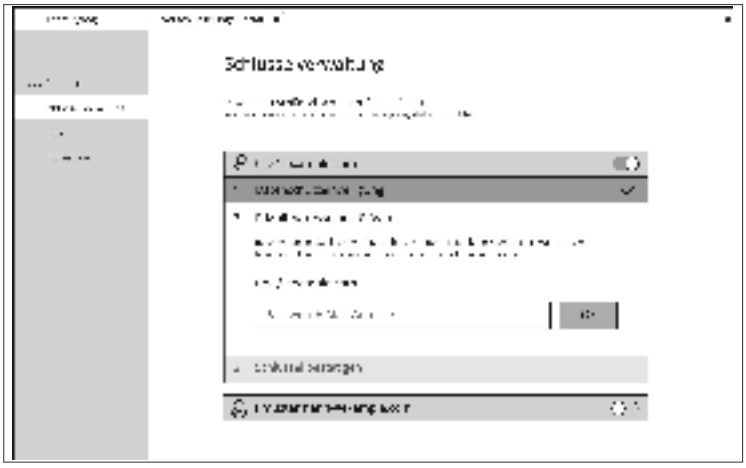


Abbildung 2: Schlüsselverwaltung

Schlüsselabruf. Das Abrufen der öffentlichen Schlüssel der Kommunikationspartner verläuft automatisiert im Hintergrund, sobald der Nutzer die vollständige E-Mail-Adresse des Empfängers in das Adressfeld eingegeben hat (vgl. Abschnitt 4.1). Das Plugin signalisiert dem Nutzer lediglich durch einen visuellen Indikator (z. B. ein Symbol im Adressfeld der eingegebenen E-Mail-Adresse), ob ein Schlüssel oder Zertifikat gefunden wurde. Wenn der Schlüssel des Empfängers nicht ermittelt werden konnte, bekommt der Nutzer durch einen entsprechenden Dialog Hilfestellung und Handlungsoptionen angeboten.

5 Alternative Verfahren zur Schlüsselverteilung

In den letzten Jahren wurden bereits verschiedene Ansätze verfolgt, um die Schlüsselverteilung, insbesondere von OpenPGP-Schlüsseln, zu vereinfachen. In diesem Abschnitt werden drei solcher Verfahren vorgestellt: „Public Key Association“ (PKA), „DANE Bindings for OpenPGP“ und „OpenPGP Web Key Service“. Alle drei Verfahren haben gewisse Schwächen, die bei der Entwicklung der VVV-Lösung aufgegriffen wurden.

5.1 Schlüssel-Informationen auf dem DNS-Server

Im Verfahren „Public Key Association“ (PKA) [Ko06] zur Veröffentlichung von OpenPGP-Schlüsseln wird für jede E-Mail-Adresse ein eigener so genannter „Public Key Association Resource Record“ im DNS angelegt. Der Record ist der Form nach ein „Text String Resource Record“ mit frei definierbarem Text und kann neben einer Versionsangabe des Protokolls, der E-Mail-Adresse und dem Fingerprint des OpenPGP-Schlüssels auch die Web-Adresse

einer Bezugsquelle des Schlüssels enthalten. Das Verfahren ist kein RFC-Standard. Es wird in der Praxis zwar eingesetzt, hat sich aber nicht weiter durchgesetzt. Das Verfahren kann zudem einige Sicherheits- und Datenschutzanforderungen nicht erfüllen:

- Das Verfahren ist zeitlich vor der Verbreitung von DNSSEC definiert worden. Es propagiert die Veröffentlichung der Fingerprints von OpenPGP-Schlüsseln, so dass das herkömmliche OpenPGP-Vertrauensmodell auf Basis des Vergleichs von Fingerprints weiterhin notwendig ist.
- Das Verfahren skaliert schlecht und verringert die Performance des DNS, da jede E-Mail-Adresse einen eigenen Resource Record erfordert. Zudem enthalten die Einträge mit der E-Mail-Adresse des Nutzers und dem Fingerprint des OpenPGP-Schlüssels personenbezogene Daten, die ungeschützt ausgelesen werden können.

5.2 Schlüssel auf dem DNS-Server

RFC 7929 [Wo16] spezifiziert das Verfahren „DANE Bindings for OpenPGP“, einen experimentellen Ansatz für die Verbreitung und das Auffinden von OpenPGP-Schlüsseln auf Basis von DNSSEC und DANE. Im Gegensatz zu dem im obigen Abschnitt 5.1 beschriebenen Verfahren und dem VVV-Verfahren, vgl. Abschnitt 3, welche ebenfalls auf DNSSEC basieren, werden hier die öffentlichen OpenPGP-Schlüssel direkt in DNS Resource Records abgelegt.[14] Die DNS-Anfragen werden nicht für die Domain einer E-Mail-Adresse gestellt, sondern für die komplette E-Mail-Adresse. Hieraus ergeben sich jedoch einige Probleme, die gegen diesen Ansatz sprechen:

- Eine Verschlüsselung ist mittels DNSSEC nicht möglich. Die OpenPGP-Schlüssel bzw. Zertifikate der Nutzer enthalten jedoch personenbezogene Daten und sollten daher nicht unverschlüsselt übertragen werden.
- Wie das Verfahren in Abschnitt 5.1 skaliert auch dieses Verfahren schlecht und verringert die DNS-Performance. Zudem wäre die maximal zulässige Größe von DNS Records schnell überschritten, wenn öffentliche OpenPGP-Schlüssel umfangreiche Beglaubigungen anderer Nutzer enthalten.

5.3 Schlüssel auf einem Webserver

Der IETF-Draft „OpenPGP Web Key Service“ [Ko17] beschreibt ein Verfahren, mit dem öffentliche OpenPGP-Schlüssel veröffentlicht und abgerufen werden können. Zum Veröffentlichen des Schlüssels wird im ersten Schritt via HTTP eine E-Mail-Adresse des

[14] Ein ähnlicher Entwurf zur Veröffentlichung von S/MIME-Zertifikaten ist in [HS17] beschrieben.

E-Mail-Anbieters abgerufen, an die im zweiten Schritt der eigene öffentliche Schlüssel via SMTP gesendet wird. Der E-Mail-Anbieter veröffentlicht den empfangenen Schlüssel auf seinem Webserver. Bezüglich der verwendeten unterschiedlichen Protokolle HTTP und SMTP erscheint dieses Verfahren inkonsistent.

Zum Abruf des Schlüssels eines gewünschten Kommunikationspartners anhand dessen E-Mail-Adresse dient ein HTTPS-basiertes Verfahren. Hierbei wird eine HTTP-GET-Anfrage an einen Webserver gesendet, welcher über die Domain der E-Mail-Adresse, zu der der dazugehörige Schlüssel gesucht wird, erreichbar ist. Der lokale Teil der E-Mail-Adresse wird in den Pfad der URL kodiert. Dieses proprietäre Verfahren verzichtet auf HKP- und LDAP-Server, obwohl diese bei vielen Anbietern bereits etabliert sind.

6 Fazit

Das in diesem Beitrag vorgestellte VVV-Verfahren sorgt dafür, dass E-Mail-Anwendungen die authentischen OpenPGP-Schlüssel und X.509-Zertifikate gewünschter Kommunikationspartner automatisch abrufen und damit E-Mails problemlos verschlüsseln können. Die Nutzer können auf die manuelle Verteilung und Überprüfung von Schlüsseln verzichten und brauchen sich nicht mehr um die Adressen von Schlüssel-Servern zu kümmern.

Der Nutzer autorisiert bei diesem Verfahren die Veröffentlichung seines öffentlichen Schlüssels und kann jederzeit die Veröffentlichung zurückziehen. Das Plugin führt den Nutzer auf benutzungsfreundliche Weise durch den Veröffentlichungsprozess von der Auswahl des lokalen Schlüssels bis hin zur Bestätigung der Veröffentlichung durch den E-Mail-Anbieter. Für das Hochladen des Schlüssels an den E-Mail-Anbieter existiert bisher keine standardisierte Schnittstelle, so dass die prototypische Implementierung in dieser Hinsicht bislang nur eine proprietäre Schnittstelle zu einem ausgewählten E-Mail-Anbieter besitzt. Für eine Verbreitung des Verfahrens ist die Spezifikation einer einheitlichen von den E-Mail-Anbietern akzeptierten Schnittstelle erforderlich.

Die veröffentlichten Schlüssel sind eindeutig auffindbar, weil die Speicherorte über das DNS standardkonform, eindeutig und sicher mittels Resource Records kommuniziert werden. Das Abrufen erfolgt automatisch im Hintergrund durch das Plugin, sobald der Nutzer eine vollständige E-Mail-Adresse im Adressfeld einer E-Mail eingegeben hat, und ist somit ebenfalls sehr benutzungsfreundlich. Damit ist es möglich, eine Mail für mehrere Empfänger zu verschlüsseln, auch wenn deren Schlüssel auf unterschiedlichen Schlüssel-Servern veröffentlicht sind. E-Mail-Anbieter können dieses Verfahren leicht realisieren, weil dazu auf dem DNS-Server nur weitere Resource Records angelegt werden müssen. Bestehende Schlüssel-Server können daher bei diesem Verfahren weiter genutzt werden.

Literatur

[Ar05a] Arends, R.; Austein, R.; Larson, M.; Massey, D.; Rose, S.: RFC 4033 - DNS Security Introduction and Requirements. 2005.

[Ar05b] Arends, R.; Austein, R.; Larson, M.; Massey, D.; Rose, S.: RFC 4034 - Resource Records for the DNS Security Extensions. 2005.

[Ca07] Callas, J.; Donnerhacke, L.; Finney, H.; Shaw, D.; Thayer, R.: RFC 4880 - OpenPGP Message Format. 2007.

[Co11] Cotton, M. S.; Eggert, L.; Touch, Dr. J. D.; Westerlund, M.; Cheshire, S.: Internet Assigned Numbers Authority (IANA) Procedures for the Management of the Service Name and Transport Protocol Port Number Registry. (6335), 2011.

[HS12] Hoffman, P.; Schlyter, J.: RFC 6698 - The DNS-Based Authentication of Named Entities (DANE) Transport Layer Security (TLS) Protocol: TLSA. 2012.

[HS17] Hoffman, P.; Schlyter, J.: Using Secure DNS to Associate Certificates with Domain Names For S/MIME. (draft-ietf-dane-smime-16), 2017.

[HSW16a] Herfert, M.; Selzer, A.; Waldmann, U.: Laientaugliche Schlüsselgenerierung für die Ende-zu-Ende-Verschlüsselung – Schlüssel für alle durch die Volksverschlüsselung. Datenschutz und Datensicherheit – DuD, 05:290–294, 2016.

[HSW16b] Herfert, M.; Selzer, A.; Waldmann, U.: Selbstdatenschutz in Zeiten massenhafter E-Mail-Überwachungen. BvD-News, 01:57–59, 2016.

[Ko06] Koch, W.: Public Key Association, http://www.g10code.de/docs/pka-intro.de.pdf. 2006.

[Ko17] Koch, W.: OpenPGP Web Key Service - draft-koch-openpgp-webkey-service-03. 2017.

[RT10] Ramsdell, B.; Turner, S.: RFC 5751 - Secure/Multipurpose Internet Mail Extensions (S/MIME) Version 3.2: Message Specification. 2010.

[Se15] Sermersheim, J.: RFC 4511 - Lightweight Directory Access Protocol (LDAP): The Protocol. (4511), 2015.

[Sh03] Shaw, D.: The OpenPGP HTTP Keyserver Protocol (HKP). (draft-shaw-openpgp-hkp-00), 2003.

[Wo16] Wouters, P.: RFC 7929 - DNS-Based Authentication of Named Entities (DANE) Bindings for OpenPGP. 2016.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 751

Anforderungen des künftigen europäischen Datenschutzrechts an die vertrauenswürdige Verteilung von Verschlüsselungsschlüsseln

Stephan Blazy[1], Susan Gonscherowski[2] und Annika Selzer[3]

Abstract:[4] Der Wunsch der Bevölkerung nach effektiven Selbstschutzmechanismen für ihre elektronische Kommunikation wird – auch vor dem Hintergrund der anlasslosen Massenüberwachungen durch Geheimdienste – immer lauter. Für den Schutz der E-Mail-Kommunikation, die einen Großteil der Kommunikation im Internet ausmacht, bestehen durch Verfahren der Ende-zu-Ende-Verschlüsselung bereits seit Jahren solche effektiven Schutzmechanismen. Problematisch ist jedoch, dass – obwohl die Verfahren zur Ende-zu-Ende-Verschlüsselung seit vielen Jahren wohlverstanden werden und von allen gängigen E-Mail-Programmen genutzt werden können – diese Verfahren nicht laientauglich ausgestaltet sind, so dass nur eine geringe Zahl an Internetnutzern ihre E-Mail-Kommunikation bisher durch Ende-zu-Ende-Verschlüsselung schützt. U. a. wird es im Zusammenhang mit der E-Mail-Verschlüsselung als problematisch empfunden, den öffentlichen Verschlüsselungsschlüssel des gewünschten Kommunikationspartners aufzufinden. Dieser Beitrag skizziert die hier genannten Probleme und stellt rechtliche Anforderungen an eine Lösung zur Verbesserung des Auffindens von Verschlüsselungsschlüsseln selbst sowie an E-Mail-Provider.

Keywords: Datenschutz, E-Mail-Provider, Haftung, Verschlüsselung, Verzeichnisdienste

1 Wunsch der Bevölkerung nach effektivem Schutz der Online-Kommunikation

Im Jahr 2013, deckte Edward Snowden anlasslose Massenüberwachungen der Online-Kommunikation durch Geheimdienste, allen voran die Geheimdienste der USA, Australien, Neuseeland, Kanada und Großbritannien (Auch als „Five Eyes“ bezeichnet), auf. Die Aufdeckung von Ausspähprogrammen löste bei einem großen Anteil der Bevölkerung Unbehagen aus. Konsequenterweise wird der Wunsch nach effektiven

[1] Universität Kassel, Projektgruppe verfassungsverträgliche Technikgestaltung (Provet), Pfannkuchstr. 1, 34109 Kassel, s.blazy@uni-kassel.de.
[2] Unabhängiges Landeszentrum für Datenschutz (ULD), Holstenstraße 98, 24103 Kiel, sgonscherowski@datenschutzzentrum.de.
[3] Fraunhofer-Institut für Sichere Informationstechnologie (SIT), Rheinstraße 75, 64295 Darmstadt, annika.selzer@sit.fraunhofer.de.
[4] Dieser Beitrag entstand im Rahmen des Projekts „Vertrauenswürdige Verteilung von Verschlüsselungsschlüsseln (VVV)“ (https://keys4all.de), das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) auf Grundlage des Forschungsrahmenprogramms der Bundesregierung zur IT-Sicherheit „Selbstbestimmt und sicher in der digitalen Welt“ unter dem Förderkennzeichen 16KIS0354K gefördert wird.

doi:10.18420/in2017_74

Schutzmechanismen gegen anlasslose Massenüberwachungen durch Geheimdienste immer lauter.

Für den Schutz der E-Mail-Kommunikation, die einen Großteil der Kommunikation im Internet ausmacht, bestehen durch Verfahren der Ende-zu-Ende-Verschlüsselung bereits seit Jahren solche effektiven Schutzmechanismen [HSW16a, HSW16b].

1.1 Funktion digitaler Zertifikate im Kontext von Ende-zu-Ende-Verschlüsselung

Möchte der Sender eine Information verschlüsselt an den Empfänger senden, so benötigt der Sender den öffentlichen Schlüssel des Empfängers in Form eines digitalen Zertifikats (im Folgenden wird zur besseren Lesbarkeit nur von *Zertifikaten* gesprochen). Ein digitales Zertifikat bescheinigt die Vertrauenswürdigkeit eines öffentlichen Schlüssels und enthält neben dem öffentlichen Schlüssel i. d. R.[5] auch personenbezogene Daten wie z. B. den Namen und die E-Mail-Adresse des Zertifikatinhabers. Mit dem öffentlichen Schlüssel wird die Information verschlüsselt, d. h. in einen Geheimtext überführt, dann an den Empfänger versandt und mit Hilfe seines privaten Schlüssels wieder in den Klartext versetzt bzw. entschlüsselt. Die Sicherheit des Verfahrens hängt dabei auch vom verantwortungsvollen Umgang mit dem privaten Schlüssel ab, der - im Gegensatz zum öffentlichen Schlüssel - nur der Person bekannt sein darf, welcher der private Schlüssel gehört [WB16, HSW16a, HSW16b].

1.2 Fehlende Laientauglichkeit als Hemmschuh der E-Mail-Verschlüsselung

Problematisch ist, dass – obwohl die Verfahren zur Ende-zu-Ende-Verschlüsselung seit vielen Jahren wohlverstanden werden und von allen gängigen E-Mail-Programmen genutzt werden können – diese Verfahren jedoch nicht laientauglich ausgestaltet sind, so dass nur eine geringe Zahl an Internetnutzern ihre E-Mail-Kommunikation bisher durch Ende-zu-Ende-Verschlüsselung schützt [HSW16a, HSW16b].

Dieser Umstand resultiert vor allem aus folgenden drei Problemen:

1. Nur wenige Personen verfügen über ein kryptographisches Schlüsselpaar zur E-Mail-Verschlüsselung, da dieser Prozess bisher für Laien nicht einfach und intuitiv genug ausgestaltet wurde bzw. der Bezug von S/MIME-Zertifikaten i.d.R. kostenpflichtig ist.

2. Personen, die über ein kryptographisches Schlüsselpaar verfügen, haben Schwierigkeiten das Zertifikat ihres Kommunikationspartners aufzufinden.

[5] Bei den Daten, die ein Zertifikat neben dem öffentlichen Schlüssel enthält, handelt es sich häufig um personenbezogene Daten wie z. B. Name und E-Mail-Adresse des Zertifikatinhabers. Es ist jedoch grundsätzlich auch möglich, dass das Zertifikat neben dem öffentlichen Schlüssel lediglich pseudonymisierte Daten wie z. B. eine pseudonyme E-Mail-Adresse enthält. Dieser Fall steht jedoch nicht im Fokus dieser Ausarbeitung.

3. Weil regelmäßige Kommunikationspartner entweder kein Schlüsselpaar besitzen oder dieses nicht einfach auffindbar ist, wird kein Bedarf gesehen, selbst Kryptographie-Software zu installieren und Schlüsselpaare zu erzeugen.

Dem ersten Problem begegnet u. a. die im Jahr 2016 gestartete Initiative „Volksverschlüsselung" des Fraunhofer-Instituts für Sichere Informationstechnologie (SIT),[6] indem privaten Endnutzern nach einer Identifizierung kostenfrei ein X.509-Zertifkat für die E-Mail-Verschlüsselung (S/MIME) ausgestellt wird. Dem zweiten Problem[7] begegnet seit 2016 das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderte Forschungsprojekt „Vertrauenswürdige Verteilung von Verschlüsselungsschlüsseln" (VVV), welches im Folgenden Unterkapitel näher vorgestellt werden soll und an welches in den darauf folgenden Kapiteln datenschutzrechtliche Anforderungen formuliert werden sollen.[8]

1.3 Verzeichnisdienste als „Telefonbuch" für Verschlüsselungsschlüssel

Damit der Sender eine Information verschlüsselt an den gewünschten Empfänger schicken kann, benötigt der Sender das Zertifikat des Empfängers. Zertifikate können in so genannten Verzeichnisdiensten abgelegt werden, die eine Art „Telefonbuch" für Verschlüsselungsschlüssel darstellen. Der Sender einer Information kann in einem solchen Verzeichnisdienst – zum Beispiel durch die Eingabe der E-Mail-Adresse des Empfängers – nachschauen, ob sein gewünschter Kommunikationspartner sein Zertifikat in dem Verzeichnisdienst hinterlegt hat. Die Nutzung von Verzeichnisdiensten stellt Nutzer in der Praxis jedoch vor Probleme. So stellen S/MIME-Verzeichnisdienste i. d. R. „isolierte Insellösungen" dar, d. h. sie sind nicht miteinander verbunden und jeder Nutzer kann in seinem E-Mail-Client nur einen einzigen Verzeichnisdienst einstellen. Ist in diesem Verzeichnisdienst das Zertifikat des gewünschten Kommunikationspartners nicht auffindbar, so wird das Zertifikat nicht automatisch in allen weiteren bekannten Verzeichnisdiensten gesucht. Dies ist in etwa vergleichbar mit der Reichweite gedruckter Telefonbücher für einzelne Städte im Gegensatz zu der Onlinevariante eines Telefonbuches, in dem Telefonnummern weltweit gesucht werden können. Beim PGP-Standard (im Folgenden kurz PGP) stellt sich wiederum das Problem, dass Verzeichnisdienste zwar untereinander synchronisiert werden, dieser Umstand jedoch u. a. dazu führt, dass ein Zertifikat nicht mehr manuell durch den Nutzer gelöscht werden oder korrigiert werden kann bzw. nicht (gut) überprüfbar ist, ob eine Veröffentlichung tatsächlich von dem Berechtigten selbst autorisiert wurde oder welches der veröffentlichten Zertifikate (noch) aktuell ist. Diese wenig praktikablen Lösungen sollten durch ein für PGP und S/MIME einheitliches und benutzerfreundliches Verfahren zum Auffinden von Zertifikaten abgelöst werden. Genau dies hat sich das Projekt „Vertrauenswürdige Verteilung von Verschlüsselungsschlüsseln" (VVV) zum Ziel

[6] Vgl. https://www.volksverschluesselung.de/, besucht am 27.2.2017.
[7] Es ist davon auszugehen, dass das dritte Problem automatisch durch das Beheben der ersten beiden Probleme gelöst wird.
[8] Vgl. https://keys4all.de/, besucht am 27.2.2017.

gesetzt. Im Fokus steht die Entwicklung eines Verfahrens, mit dem jeder Sender einen vertrauenswürdigen und benutzerfreundlichen Zugang zu den Zertifikaten seines gewünschten Kommunikationspartners erhält. Hierfür stellt der E-Mail-Anbieter des Empfängers einen Verzeichnisdienst bereit, der über dessen Domänenadresse gefunden werden kann. Der Anbieter stellt weiterhin sicher, dass die darin gespeicherten Zertifikate mit einer von ihm bereitgestellten E-Mail-Adresse verknüpft sind. Teil der Entwicklung ist die Erweiterung einer E-Mail-Anwendung, mit der die Zertifikate des Nutzers veröffentlicht und die Zertifikate der Kommunikationspartner automatisch ermittelt werden können [HSW16a, HSW16b].

Der vorliegende Beitrag befasst sich mit dem eben skizzierten einheitlichen und benutzungsfreundlichen Verfahren zum Auffinden von Zertifikaten (im Folgenden: VVV-Lösung) aus datenschutzrechtlicher Sicht. Zunächst werden die relevanten unionsgesetzgeberischen Neuerungen vorgestellt (Kapitel 2). Den Schwerpunkt der rechtlichen Betrachtung bildet sodann die Aufstellung datenschutzrechtlicher Vorgaben an die Lösung sowie an E-Mail-Provider, die diese Lösung anbieten wollen (Kapitel 3). Dies erfolgt auf Grundlage der Datenschutz-Grundverordnung (DSGVO). Der Beitrag endet mit einer Zusammenfassung (Kapitel 4).

2 Neue Regelungen des Unionsrechts

Ab 25. Mai 2018 stellt die DSGVO den allgemeinen Rechtsrahmen für die Verarbeitung personenbezogener Daten in der EU dar. Jeder E-Mail-Provider[9] – als Verantwortlicher i. S. d. Art. 4 Abs. 7 DSGVO – muss bestimmten Verpflichtungen nachkommen, wenn er im Rahmen der Bereitstellung eines E-Mail-Accounts personenbezogene Daten verarbeiten will. Dazu zählen Informationspflichten gegenüber Betroffenen, Nachweispflichten gegenüber den Aufsichtsbehörden sowie Vorsorgepflichten zur Eindämmung von Sicherheitsrisiken. Kommt ein Provider diesen Verpflichtungen nicht hinreichend nach, hat dies regelmäßig einen Gesetzesverstoß zur Folge, der mit einem nicht unerheblichen Bußgeld sanktioniert werden kann.

Der von der EU-Kommission eingebrachte Entwurf einer Verordnung über Privatsphäre und elektronische Kommunikation (e-Privacy-VO-E) wird die Richtlinie für Datenschutz in der elektronischen Kommunikation aus dem Jahr 2002 ersetzen und die DSGVO bereichsspezifisch ergänzen [Ro17b]. Die Notwendigkeit einer regulatorischen Überarbeitung der Richtlinie resultiert aus einschneidenden wirtschaftlichen und vor allem technischen Entwicklungen. So ist die Nutzung klassischer Kommunikationsdienste, wie die Festnetztelefonie, in den vergangenen Jahren zunehmend in den Hintergrund getreten. Demgegenüber hat sich eine rasante Verbreitung neuer, internetbasierter Kommunikationsformen vollzogen zu denen etwa VoIP-Telefonie oder Over-The-Top-Dienste zählen. Diese Entwicklung hat dazu geführt, dass die elektronische Kommunikation nicht mehr vollumfänglich vom derzeitigen

[9] Im Folgenden „Provider“ genannt.

(europäischen-) Rechtsrahmen erfasst wird, was durch den e-Privacy-VO-E ausgeglichen werden soll.

3 Datenschutzrechtliche Einordnung der VVV-Lösung

Die im VVV-Projekt entwickelte Anwendung stellt dem Nutzer über eine Anwendung die Zertifikate der Kommunikationspartner zur Verfügung. Die im Zertifikat aufgeführten Daten wie Name, Vorname sowie eventuell weitere Angaben, etwa Anschrift oder E-Mail-Adresse – PGP erlaubt gar das Einfügen von Gesichtsbildern – stellen personenbezogene Daten dar. Beabsichtigt der Provider nun im Rahmen einer Public-Key-Infrastruktur (PKI) diese Zertifikate zu verwalten und zu verteilen, sind die einschlägigen datenschutzrechtlichen Regelungen zu beachten, die im Folgenden diskutiert werden sollen.

Über die o. g. Anwendung können Inhalte über die Anwendung in Verzeichnisse veröffentlicht und auch aus elektronischen Verzeichnissen abgerufen werden. Es handelt sich entsprechend um einen Telemediendienst, der es dem Nutzer ermöglicht ein Zertifikat in einem Verzeichnis eines E-Mail-Übertragungsdienstes bereitzustellen. E-Mail-Übertragungsdienste gehören zur Kategorie interpersoneller Kommunikationsdienste, wie sie in Art. 2 Abs. 5 im Entwurf der Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates über den europäischen Kodex für die elektronische Kommunikation[10] definiert sind. Dieser Definition folgt auch der Entwurf der e-Privacy-VO.

4 Relevante Vorgaben des Entwurfs der e-Privacy-VO

Art. 15 e-Privacy-VO-E befasst sich mit der Regelung öffentlich zugänglicher Verzeichnisse. Was unter einem öffentlich zugänglichen Verzeichnis im Sinne des Verordnungsentwurfes zu verstehen ist, beschreibt Art. 4 Abs. 3 lit. d e-Privacy-VO-E. Hiernach handelt es sich um ein Verzeichnis der Endnutzer elektronischer Kommunikationsdienste in gedruckter oder elektronischer Form, das veröffentlicht oder der Öffentlichkeit bzw. einem Teil der Öffentlichkeit zugänglich gemacht wird, auch mithilfe eines Verzeichnisauskunftsdienstes. Die in derartigen Verzeichnissen gespeicherten Informationen umfassen etwa Telefonnummern, E-Mail-Adressen oder andere Kontaktangaben der Endnutzer.[11] Sie erfüllen mithin die Funktion eines (elektronischen) Telefonbuchs. Die Hinterlegung des einem Endnutzer zugeordneten Zertifikats in ein providerseitiges Verzeichnis und die Möglichkeit der öffentlichen Abfrage dieser Information mit dem Zweck der Kontaktaufnahme, erfüllt ebenfalls diese (Auskunfts-)Funktion und fällt damit in den Anwendungsbereich des

[10] Vorschlag der Kommission für eine Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates über den Kodex für die elektronische Kommunikation, COM(2016) 590 final- 2016/0288 (COD).
[11] S. Erwägungsgrund 30 des Verordnungsentwurfs.

Verordnungsentwurfs.

Die im Entwurf exemplarisch aufgeführten Angaben wie Telefonnummer und E-Mail-Adresse repräsentieren ein eindeutiges Kommunikationsmedium. Zwar stellt der Versand einer Ende-zu-Ende-verschlüsselten E-Mail in Relation zu einer unverschlüsselten E-Mail eine signifikante Veränderung der Kommunikationsform dar, die sich nicht allein in der technischen Absicherung der informationellen Selbstbestimmung, sondern zudem in der gefühlten kommunikativen Selbstbestimmung und damit dem kommunikativen Verhalten selbst äußert. Für eine Auslösung des Anwendungsbereichs des Art. 15 e-Privacy-VO-E auf VVV spricht das erklärte Bestreben des europäischen Gesetzgebers neuartige, bisher ungeregelte, internetbasierte Kommunikationsdienste zu regulieren.

Dies hätte zu Folge, dass die Provider von den Nutzern als Betroffene (natürliche Personen) gem. Art. 15 Abs. 1 e-Privacy-VO-E die ausdrückliche Einwilligung in die Aufnahme des mit VVV etablierten Verzeichnisdienstes einzuholen verpflichtet sind. Neben der Aufnahme erstreckt sich die Einwilligung auch auf die Suchfunktionalitäten von VVV, über die der Nutzer im Vorhinein aufzuklären ist. Erst dann darf das Zertifikat der Nutzer via VVV an andere Kommunikationspartner übermittelt werden. Für die Anforderungen, denen die Einwilligung genügen muss, verweist Art. 9 Abs. 1 e-Privacy-VO-E auf die einschlägigen Bestimmungen der DSGVO. Juristische Personen haben bezüglich der Aufnahme ihrer Zertifikate in das Verzeichnis gem. Art. 9 Abs. 3 e-Privacy-VO-E lediglich ein Widerspruchsrecht. Den Nutzern von VVV – unabhängig ob sie nun natürliche oder juristische Personen sind – wird darüber hinaus nach Art. 15 e-Privacy-VO-E das Recht eingeräumt ihre Zertifikate kostenlos auf ihre Richtigkeit hin zu überprüfen und ggf. zu löschen.[12]

5 Relevante Vorgaben der DSGVO

Die folgenden Unterabschnitte thematisieren die Rechtmäßigkeit der Verarbeitung, die Datenminimierung, die Datenrichtigkeit, die Löschung, die Informationspflichten, die Datensicherheit, die Haftung der Provider sowie die Rechenschaftspflichten als rechtliche Anforderungen der Datenschutz-Grundverordnung an die VVV-Lösung.

5.1 Rechtmäßigkeit der Verarbeitung

Die Zertifikate des Nutzers werden vom Provider z. B. auf seinem eigenen Server oder dem Server eines Unterauftragnehmers gespeichert und bei entsprechenden Anfragen an die jeweiligen Kommunikationsteilnehmer übermittelt. Diese Verwaltung der Zertifikate beim Provider stellt eine Verarbeitung i. S. d. Art. 4 Nr. 2 DSGVO dar und muss für eine

[12] Zur Problematik des Löschungsanspruchs s. Punkt 3.2.4 in Bezug zur DSGVO.

rechtliche Legitimation einen Tatbestand des Art. 6 Abs. 1 UAbs. 1 erfüllen [PP17]. Hat der Nutzer einen Account bei einem E-Mail-Provider, der auch VVV-Dienste unterstützt, liegt als Rechtsgrundlage der Datenverarbeitung bereits ein Vertrag mit dem Provider i. S. d. Art. 6 Abs. 1 UAbs. 1 lit. b DSGVO vor [Ro17a]. Das Hochladen des **eigenen** Zertifikats mit einem vom Provider bereitgestellten Verfahren, kann in diesem Fall als konkludente Vertragserweiterung angesehen werden, auf welche die Verarbeitung gestützt werden kann.[13] Hiervon ist auch auszugehen, wenn die Erbringung des E-Mail-Dienstes mit einer entsprechenden VVV-Erweiterung kostenlos ist. Im Rahmen der Vertragserweiterung sollte der Provider dem Betroffenen demnach alle Umstände der Datenverarbeitung hinreichend bekannt machen, bevor dieser sein Zertifikat via VVV publiziert. Hierzu ist es empfehlenswert den Vorgang des Schlüsselhochladens in einem eindeutig informierenden, bspw. Opt-in gestalteten Verfahren, vorzunehmen und die Umstände im Vertrag zu integrieren.

Die Verarbeitung personenbezogener Daten Dritter, z.B. in Form eines signierten Schlüssels ist jedoch nicht vertraglich erfasst [Mo11]. Der Provider hat sicherzustellen, dass der jeweilige Schlüssel auch vom Inhaber der korrespondierenden E-Mail-Adresse stammt und der Inhaber den zugehörigen privaten Schlüssel nutzen kann.

5.2 Datenminimierung

In den in Art. 5 DSGVO normierten Grundsätzen der Datenverarbeitung ist in lit. c die Datenminimierung festgeschrieben. Hiernach muss die Verarbeitung personenbezogener Daten dem Zweck angemessen, erheblich sowie auf das notwendige Maß begrenzt sein [PP17]. Der Grundsatz der Datenminimierung ist als solcher nicht neu, trat er doch bisher im Gewand Erforderlichkeit in Art. 6 Abs. 1 lit. c DSRL in Erscheinung. Die demgegenüber abzugrenzende Datensparsamkeit des BDSG ist strenger gefasst und hinterfragt bereits die Zweckbestimmung, wohingegen die Datenminimierung die bereits zweckgebundene Datenverarbeitung auf ein erforderliches Maß zu reduzieren sucht [Ro17a] [Ro03]. Dies wird etwa dann relevant, wenn der Betroffene nachweisen muss, dass er tatsächlich der Inhaber des Zertifikats ist, den er in das Verzeichnis des Providers hochzuladen beabsichtigt. Die damit verbundene Authentifizierung des Nutzers erfordert regelmäßig die Angabe personenbezogener Daten. Unter Berücksichtigung der Datenminimierung sollte der Provider in diesem Fall die Verifizierung des Zertifikats, soweit dies möglich und sinnvoll ist, anhand von Daten vornehmen, die ihm bereits aus dem bestehenden Vertragsverhältnis mit dem Betroffenen bekannt sind. Hierunter fällt bspw. die E-Mail-Adresse des entsprechenden Accounts. Von darüber hinausgehenden Angaben sollte abgesehen werden.

[13] S. aber unabhängig vom Vorliegen eines bestehenden Vertrags die Erforderlichkeit der Einwilligung in die Aufnahme des Verzeichnisdienstes i. S. d. Art. 15 e-Privacy-VO-E. Zur technischen Umsetzung der Einwilligung im Rahmen des Projekts VVV vgl. den im selben Kapitel erschienenen Beitrag zu Verfahren zur vertrauenswürdigen Verteilung von Verschlüsselungsschlüsseln.

5.3 Datenrichtigkeit

Gem. Art. 15 Abs. 1 Satz 2 e-Privacy-VO-E muss der Provider eine Überprüfung, Berichtigung und Löschung personenbezogener Daten ermöglichen. Korrespondierend hierzu hat jeder Betroffene nach Art. 16 DSGVO das Recht, fehlerhafte oder unvollständige personenbezogene Daten unverzüglich vom Provider berichtigen zu lassen [Ro17a]. Diese Norm konkretisiert den in Art. 5 Abs. 1 lit. d DSGVO normierten Grundsatz der Datenrichtigkeit. Hiernach sind die personenbezogenen Daten sachlich richtig und erforderlichenfalls auf dem neusten Stand zu halten. Ein Zertifikat ist für den Inhaber nutzlos, wenn er nicht korrekt durch den Provider übernommen wird. Eine Entschlüsselung der empfangenen E-Mails wäre dann nicht mehr möglich. Die Aktualität eines Zertifikats stellt hier ein besonderes Problem dar. Erfolgt keine Synchronisation mit anderen Servern (PGP) und auch kein Abgleich mit Revocationlists (S/MIME), sollte der Provider in Zusammenarbeit mit dem Kunden/Inhaber des Zertifikats ein nutzerkontrolliertes Löschen bzw. Aktualisieren des Zertifikats ermöglichen. Denn obwohl ein abgelaufenes Zertifikat i. d. R. funktionsfähig bleibt, stellt sich für den verschlüsselnden Kommunikationspartner (nicht Zertifikatinhaber) die Frage, ob das Zertifikat tatsächlich weiter verwendet werden soll. Die Verteilung eines abgelaufenen Zertifikats durch einen Provider stellt sowohl die Vertraulichkeit der Nachrichten als auch die Integrität des Zertifikats selbst in Frage. In der Folge hat auch der Provider ein Interesse an der Aktualität der im Umlauf befindlichen Zertifikate. Es erscheint ratsam dem Nutzer in einem standardisierten Verfahren rechtzeitig auf den Ablauf des Zertifikats hinzuweisen.

Laut Art. 5 Abs. 1 lit. d DSGVO sind personenbezogene Daten, die im Hinblick auf die Zwecke ihrer Verarbeitung unrichtig sind, unverzüglich zu löschen oder zu berichtigen. Der Verarbeitungszweck eines Zertifikats liegt in der Gewährleistung der Vertraulichkeit der E-Mail-Kommunikation. Zweifel an der Aktualität und damit der Integrität eines Zertifikats gefährden die Vertraulichkeit der Kommunikation und widersprechen damit dem Zweck seiner Verarbeitung. Stellt ein Provider ein abgelaufenes Zertifikat weiter zu Verfügung und entsteht einem Nutzer dadurch ein Schaden, beispielweise durch den Verlust von Geschäftsgeheimnissen, könnte der Provider für den Schaden haften.[14]

5.4 Löschung

Art. 17 Abs. 1 DSGVO normiert den Anspruch der betroffenen Person auf Löschung ihrer sämtlichen personenbezogenen Daten. Dieses „Recht auf Vergessenwerden“ greift in den Fällen, in denen die Daten für die ursprüngliche Zweckerreichung nicht mehr notwendig sind, der Betroffene seine Einwilligung widerruft, die Befristung ausläuft, der Verarbeitung widersprochen wird bzw. diese mit der DSGVO nicht vereinbar ist

[14] Das Zertifikat enthält zwar keine Information darüber, woher es für einen konkreten Verwendungsfall heruntergeladen wurde. Die Verantwortung für den Nachweis über den ordnungsgemäßen Betrieb des Keyservers muss der Provider jedoch selbst, z. B. durch Dokumentation von Änderungen in der Datenbank, gemäß ISO- oder BSI-Grundschutzstandards erbringen.

[Ro17a]. Art. 17 DSGVO konkretisiert in der Folge ebenfalls den in Art. 5 Abs. 1 lit. d DSGVO verorteten Grundsatz der Datenrichtigkeit. Die aus diesem Recht geschaffene Möglichkeit sein Zertifikat zu löschen, ist mit den derzeit gebräuchlichen Verfahren (bei PGP) technisch nicht umsetzbar, da sich die einzelnen Keyserver untereinander synchronisieren. In der Folge müsste der Datensatz simultan auf allen dem Verbund angehörigen Servern gelöscht werden, die unter unterschiedlicher Kontrolle stehen. Das Zertifikat kann in einer derartigen Architektur lediglich für ungültig erklärt und entsprechend markiert bzw. ein zusätzliches Widerrufszertifikat veröffentlicht werden, durch den die Ungültigkeit erklärt wird. Demgegenüber erfolgt in der VVV-Lösung keine Synchronisation der Schlüsselserver untereinander und eine damit einhergehende Datenredundanz. Der Betroffene hat also zu jeder Zeit die Möglichkeit sein Zertifikat aus dem Verzeichnis zu löschen.[15]

5.5 Informationspflichten

Zu den Informationspflichten eines Providers gehören hauptsächlich Aufklärung, Auskunft und Benachrichtigung der Nutzer. Unter Umständen ergeben sich auch Informationspflichten gegenüber der zuständigen Aufsichtsbehörde. Die gesetzlichen Informationspflichten gegenüber dem Nutzer beginnen bereits vor der Datenerhebung mit dem Einholen der Einwilligung des Nutzers in die Datenverarbeitung (Art. 15 Abs. 1 Satz 1 e-Privacy-VO-E). Die Bedingungen an Freiwilligkeit und Informiertheit bestehen weiter fort, jedoch werden an verschiedenen Stellen Vereinfachungen für die Betroffenen ermöglicht. Auf die Verantwortlichen kommen damit z. T. andere Aufgaben zu. So sieht der Entwurf der e-Privacy-VO in Art. 2 Abs. 2 für die Betreiber von Verzeichnissen auch eine Einwilligung in die Freischaltung von verfügbaren Suchfunktionen vor. Die DSGVO stellt ihrerseits auf eine umfassende Informiertheit des Betroffenen ab. Die Pflichten des Verantwortlichen gegenüber dem Betroffenen gelten unabhängig davon, ob die Erhebung direkt bei der Person oder an anderer Stelle stattfindet. Jedoch erweitert Art. 14 Abs. 1 und Abs. 2 litt. a-d DSGVO in diesem Fall den Umfang der Informationspflichten im Gegensatz zu Sachverhalten bei denen die Daten bei den Betroffenen i. S. d. Art. 13 Abs. 1 und Abs. 2 litt. a-d erhoben wurden [Ma16]. Zusätzlich zu den bisherigen Informationen, wie dem Zweck der Datenverarbeitung, muss dem Nutzer verdeutlicht werden auf welcher Rechtsgrundlage die Verarbeitung stattfindet (Art. 13 Abs. 1 lit. c DSGVO). Zudem müssen die Speicherdauer bzw. Kriterien für die Festlegung der Speicherdauer mitgeteilt werden (Art. 13 Abs. 2 lit. a DSGVO). Der Verantwortliche muss außerdem über weitere Empfänger und eine beabsichtigte Übermittlung in Drittländer oder an internationale Organisationen informieren (Art. 13 Abs. 1 litt. e, f DSGVO). Die Anforderungen an eine informierte und damit in allen Teilen gültige Einwilligung umfassen auch die Aufklärung des Nutzers über sein Recht auf Auskunft, Berichtigung und Löschung der Verarbeitung sowie neuerdings das Recht auf Datenübertragbarkeit (Art. 13 Abs. 2 lit. b DSGVO).

[15] Jedoch sieht die VVV-Lösung nicht die Möglichkeit vor, ein Widerrufszertifikat zu veröffentlichen, so dass andere Nutzer nicht erfahren können, warum das Zertifikat gelöscht wurde. Dem Nutzer soll die Möglichkeit offen stehen, das Zertifikat zu wiederrufen, weil er lediglich nicht mehr im Verzeichnisdienst stehen möchte.

5.6 Datensicherheit

Die Provider, die Teil der VVV-Architektur sind, müssen auch für die Sicherheit der ihnen überantworteten personenbezogenen Zertifikatsinformationen Sorge tragen. Den Rahmen hierfür geben Art. 5 und 32 DSGVO vor. Art. 5 Abs. 1 lit. f DSGVO statuiert diesbezüglich den Grundsatz der Integrität und Vertraulichkeit personenbezogener Daten. Hiernach sind technische und organisatorische Maßnahmen zu ergreifen, die geeignet sein müssen, einer missbräuchlichen Verarbeitung, dem unbeabsichtigten Verlust, der Schädigung oder Zerstörung personenbezogener Daten vorzubeugen. Wie diese zu ergreifenden technischen und organisatorischen Maßnahmen im Einzelfall auszugestalten sind, konkretisiert der mit „Sicherheit der Verarbeitung" überschriebene Art. 32 DSGVO [Ro17a]. Sie haben sich an dem jeweiligen Zweck der Verarbeitung, dem Stand der Technik sowie dem Risiko der Datenverarbeitung für „Rechte und Freiheiten natürlicher Personen" zu orientieren. Neben den Datensicherheitsanforderungen der DSGVO tritt für VVV als Verzeichnisdienst im Sinne des Art. 15 e-Privacy-VO-E die Vertraulichkeit der elektronischen Kommunikationsdaten gem. Art. 5 e-Privacy-VO-E.[16]

Die vom Provider zu ergreifenden technischen und organisatorischen Maßnahmen betreffen auch den Zugriff auf die einzelnen Zertifikate, um das potenzielle Risiko eines Missbrauchs für die Betroffenen so gering wie möglich zu halten. Das von VVV vorgesehene Zugriffs- und Berechtigungskonzept schränkt die z.T. sehr undifferenzierten Suchmöglichkeiten von Zertifikaten deutlich ein. Eine Suchanfrage liefert überhaupt nur ein Ergebnis, wenn die vollständige E-Mail-Adresse eingegeben wird. Im zweiten Schritt gibt der Server nur das eine Zertifikat aus, der vom Inhaber zur Verfügung gestellt wurde. Anders als im gegenwärtigen Verfahren ist also keine Zertifikatshistorie einsehbar. Des Weiteren sind die Übertragungswege der Zertifikate und damit verbundene Abfragen vor potenziellen Sicherheitsrisiken zu schützen. Die Informationen über die unterstützten Verschlüsselungsverfahren und das korrespondierende Schlüsselverzeichnis werden durch die DNS-Betreiber verbindlich mit DNSSEC und DANE gegen Veränderung abgesichert [WF16] [Sc16].[17] Die weiteren Kommunikationsvorgänge, die in die Verantwortlichkeit des Providers fallen, sind zudem kryptografisch abzusichern und zu authentisieren.

5.7 Haftung der Provider

Art. 82 Abs. 2 DSGVO besagt: „Jeder an einer Verarbeitung beteiligte Verantwortliche haftet für den Schaden, der durch eine nicht dieser Verordnung entsprechende

[16] Als elektronische Kommunikationsdaten gem. Art. 4 Abs. 3 lit. a e-Privacy-VO-E gelten auch Metadaten zum Zweck der Übermittlung, Verbreitung oder des Austauschs elektronischer Kommunikationsinhalte.

[17] In der VVV-Lösung wird mit DANE die Authentizität der vom Provider eingesetzten TLS-Zertifikate bei der verschlüsselten Kommunikation mit den Schlüsselservern abgesichert, nicht aber die Informationen zu den unterstützen Schlüsselservern. Die Informationen zu den unterstützen Schlüsselservern sind über DNSSEC-Signaturen geschützt.

Verarbeitung verursacht wurde."[18] Dabei ist es unerheblich, ob es sich um einen materiellen oder immateriellen Schaden handelt (Art. 82 Abs. 1 DSGVO). Art 82 Abs. 3 DSGVO statuiert die Verschuldenshaftung mit Beweislastumkehr, wonach der Verantwortliche oder der Auftragsverarbeiter von der Haftung des Abs. 2 befreit wird, wenn er nachweisen kann, dass er nicht für den Umstand durch den der Schaden entstanden ist verantwortlich ist.

In Art. 5 Abs. 2 DSGVO legt der Gesetzgeber ausdrücklich fest, dass der Verantwortliche die Einhaltung der Bestimmungen aus Absatz 1 nachweisen können muss. Entsprechend dieser Gesetzeslage kann eine betroffene (natürliche) Person Schadenersatz verlangen, wenn der Provider nicht nachweisen kann, dass die Verarbeitungsgrundsätze der Verordnung eingehalten wurden.

5.8 Rechenschaftspflichten/Nachweispflichten

Zu den Nachweispflichten/Rechenschaftspflichten gegenüber der Aufsichtsbehörde zählen die Verfahrensnachweise bzw. Datenschutz-Folgenabschätzungen (Art. 35 DSGVO) und Meldungen von Verletzungen des Schutzes personenbezogener Daten gem. Art. 33 DSGVO. Mit Art. 24 DSGVO erfolgt eine Umkehrung der Beweislast. Musste der Betroffene bisher nachweisen, dass der Verantwortliche personenbezogene Daten fehlerhaft verarbeitet hat, ist es nun Sache des für die Verarbeitung Verantwortlichen. Gleiches gilt für die Einwilligung der Betroffenen in die Datenverarbeitung (Art. 7 Abs. 1 DSGVO)

6 Zusammenfassung

Als eine Möglichkeit, Ende-zu-Ende-Verschlüsselung benutzungstauglicher zu gestalten, verwies dieser Beitrag auf die Lösung des Projekts „Vertrauenswürdige Verteilung von Verschlüsselungsschlüsseln", im Rahmen dessen wenig praktikable Lösungen von Verzeichnisdiensten durch ein für PGP und S/MIME einheitliches und benutzungsfreundliches Verfahren zum Auffinden von Zertifikaten abgelöst werden sollen. Der Beitrag formulierte sodann datenschutzrechtliche Anforderungen an diese Lösung.

Die im Zertifikat häufig aufgeführten Daten wie Name und Vorname stellen personenbezogene Daten dar, deren Verarbeitung ab dem 25. Mai 2018 die Datenschutz-Grundverordnung regeln wird. Beabsichtigt also ein Provider, die Zertifikate zu verwalten und zu verteilen, sind die einschlägigen Regelungen der Datenschutz-Grundverordnung zu beachten. Dazu zählen u. a. Nachweispflichten gegenüber den Aufsichtsbehörden sowie Vorsorgepflichten zur Eindämmung von Sicherheitsrisiken.

[18] Die Haftung der e-Privacy-VO-E ist in Art. 22 geregelt und verweist auf die Ausnahmetatbestände des Art. 82 DSGVO.

Der von der EU-Kommission eingebrachte Entwurf einer Verordnung über Privatsphäre und elektronische Kommunikation wird die DSGVO darüber hinaus bereichsspezifisch ergänzen. Der Entwurf regelt für öffentliche Verzeichnisdienste, die als Telemediendienste einzustufen sind, angemessene Interventionsmöglichkeiten für den Endnutzer bereitzustellen. Dazu gehört u. a., dass der Endnutzer über die Aufnahme der Kategorien personenbezogener Daten bestimmt und seine Daten überprüfen, berichtigen und löschen kann.

Literaturverzeichnis

[HSW16a] Herfert, M.; Selzer, A.; Waldmann, U.: Selbstdatenschutz in Zeiten massenhafter E-Mail-Überwachungen, in: BvD-News 01/2016, S. 57-59, 2016.

[HSW16b] Herfert, M.; Selzer, A.; Waldmann, U.: Laientaugliche Schlüsselgenerierung für die Ende-zu-Ende-Verschlüsselung, in: DuD 2016, S. 290-294, 2016.

[KSS15] Kühling,.J.; Seidel, C.; Sivridis, A.: Datenschutzrecht, 3. Aufl., 2015.

[Ma16] Marschall, K.: Erweiterte Informationspflichten in der DSGVO: Änderungen für die Unternehmen, in: DSB S. 231-233, 2016.

[Mo11] Mommers, C.: BGH präzisiert Zulässigkeit von Deep-Links, in: DFN-Infobrief Recht 1/11, 2011.

[PP17] Paal, B.; Pauly, D.: Datenschutz-Grundverordnung, 2017.

[Ro03] Roßnagel, A. (Hrsg.): Handbuch Datenschutzrecht, 2003.

[Ro17a] Roßnagel, A. (Hrsg.): Europäische Datenschutz-Grundverordnung, 2017.

[Ro17b] Roßnagel, A. (Hrsg.): Entwurf einer E-Privacy-Verordnung – Licht und Schatten, in: ZPR 2017, S. 33, 2017.

[Sc16] Schirrmacher, D.: Haufenweise Fake-PGP-Schlüssel im Umlauf, über: https://www.heise.de/security/meldung/Haufenweise-Fake-PGP-Schluessel-im-Umlauf-3297175.html, besucht am 11.4.2017.

[WF16] Waldmann, U.; Fischer, P.: Technische Beschreibung der VVV-Lösung, 2016.

[WB16] Wolff, H.; Brink, S.: Datenschutzrecht in Bund und Ländern, 2016.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 763

Einführung von DNSSEC und DANE im Bayerischen Hochschulnetz

Sven Duscha[1], Bernhard Schmidt[2], Daniel Feuchtinger[3], Helmut Reiser[4]

Abstract: Verbindungen zwischen Mailservern über das Simple Mail Transfer Protocol (SMTP) können zur Sicherung des Übertragungskanals TLS-verschlüsselt werden. Die dafür verwendeten Zertifikate basieren auf CA-Vertrauen, sind oft nicht verifizierbar oder schlicht abgelaufen. Im Gegensatz zur TLS-Verschlüsselung im Browser kann hier keine manuelle Autorisierung durch einen Mail-Administrator erfolgen, sondern muss aufgrund der Vielzahl an Mails vom Server automatisiert entschieden werden. DANE (Domain Name System based Authentification of Named Entities) erlaubt die Zuordnung (Pinning) eines Zertifikats über einen Hash im Domain Name System, so dass es einem Domainnamen direkt zugeordnet werden kann. Damit lassen sich Zertifikate verifizieren und authentifizierte TLS-Verbindungen vollautomatisch zwischen Mail Transfer Agents (MTAs) aufbauen. *Steigerung der E-Mail Sicherheit in Bayern* ist ein durch das Bayerische Wissenschaftsministerium gefördertes Projekt zur Unterstützung der Systemadministratoren der bayerischen Universitäten und Hochschulen bei der Einführung von DNSSEC und darauf aufbauend der TLS-Absicherung der Mailserverkommunikation mittels DANE. Die Unterstützung erfolgt durch Kurse, Referenzimplementierungen, einer Informationsplattform und der Unterstützung durch direkte Ansprechpartner. Wir berichten hier über die technischen Grundlagen, organisatorischen Herausforderungen und bisherige Umsetzung des Projekts.

Keywords: DNSSEC, DANE, PKIX, Zertifikate, Bayerisches Hochschulnetz

1 Einführung

Während die Ende-zu-Ende-Verschlüsselung von Emails noch wenig Verbreitung gefunden hat, hauptsächlich aufgrund der Schwierigkeiten beim Schlüsselmanagement für Kommunikationspartner, wird auf die Verschlüsselung beim Transport der Emails mehr Augenmerk gelegt. Das klassische SMTP [Po81] [HW82] als eines der erfolgreichsten Protokolle im Internet, über das nahezu der gesamte Emailverkehr abgewickelt wird, startete in seiner Konzeption als unverschlüsseltes Übertragungsprotokoll zwischen Mail Transfer Agents (MTAs) sowie MTAs und Mail User Agents (MUAs). Erst nachträglich als Protokollergänzung wurde mit der „SMTP Service Extension for Secure SMTP over TLS“ [Ho02] eine opportunistische, optionale Verschlüsselung hinzugefügt.

[1] Leibniz Rechenzentrum, Abteilung KOM, Boltzmannstr. 1, 85748 Garching, sven.duscha@lrz.de
[2] Leibniz Rechenzentrum, Abteilung KOM, Boltzmannstr. 1, 85748 Garching, bernhard.schmidt@lrz.de
[3] Leibniz Rechenzentrum, Abteilung KOM, Boltzmannstr. 1, 85748 Garching, daniel.feuchtinger@lrz.de
[4] Leibniz Rechenzentrum, Abteilung KOM, Boltzmannstr. 1, 85748 Garching, helmut.reiser@lrz.de

doi:10.18420/in2017_75

2 Motivation

Diese Verschlüsselung mittels SMTP over TLS leidet unter einer Reihe von Schwachpunkten. Der Verbindungsaufbau ist unverschlüsselt und unauthentifiziert. Der empfangende Mailserver signalisiert mittels eines Schlüsselworts im Klartext-Banner, ob er zu einer TLS-Verschlüsselung in der Lage wäre. Der sendende Server kann danach bei Bedarf durch das Senden des STARTTLS-Befehls eine verschlüsselte Sitzung starten. Ein Angreifer kann nun beispielsweise eine sogenannte Downgrade-Attacke auf diese Aushandlung durchführen, indem er das Schlüsselwort aus dem unverschlüsselten Datenstrom entfernt oder ersetzt und damit dem Sender signalisiert, dass kein TLS unterstützt wird [Re15b]. Dies kann beispielsweise auch bei Firewalls der Fall sein, die, um die Nachrichten unverschlüsselt auf Viren oder Malware zu prüfen, die STARTTLS Nachricht heraus filtern.

2.1 Zertifkate

Nach Aushandlung der Verschlüsselung erfolgt im Regelfall eine Überprüfung des durch den Server präsentierten Zertifikats. Dabei muss das Zertifikat eindeutig dem Server zugeordnet werden, üblicherweise durch den Common-Name (CN), und die Signatur auf ihre Vertrauenswürdigkeit überprüft, d.h. auf eine vertrauenswürdige Zertifizierungsstelle (Certificate Authority, CA) zurückgeführt werden. Dies schlägt fehl, wenn das Zertifikat durch eine unbekannte CA oder nur selbst signiert wurde, der Common-Name nicht dem Servernamen entspricht oder das Zertifikat schlicht abgelaufen ist. Ein weiterer Schwachpunkt von SMTP mit STARTTLS ist die fehlende, konsistente Vertrauensstruktur: Alle MTAs müssten den gleichen CAs vertrauen und dürften keine Zertifikate verwenden, die nicht von einer dieser CAs ausgestellt wurden. Das ist in der Praxis nicht der Fall, ganz abgesehen davon, dass viele MTAs nur selbst erstellte (self-signed) Zertifikate verwenden.

Im Gegensatz zur Anwendung von TLS-Zertifikaten im Web bei https-Verbindungen [Re00] kann beim Mail-Austausch aufgrund der asynchronen Store-and-Forward Vermittlung dem Endnutzer kein Dialog präsentiert werden, in dem er eine Entscheidung zur Glaubwürdigkeit des Zertifikats treffen kann. Der Administrator kann diese Entscheidung aus nachvollziehbaren Skalierungsgründen nicht treffen. Bei einem nicht verifizierbaren Zertifikat müssten also entweder alle Mails zurückgehalten (und nach Ablauf der Haltezeit gelöscht) werden, oder die Sicherheit der TLS-Verschlüsselung durch das Akzeptieren beliebiger Zertifikate aufgegeben werden.

In der Vergangenheit gab es bei vielen, auch großen, CAs Fehler und Nachlässigkeiten. Dafür gibt es eine Reihe von Beispielen aus der näheren Vergangenheit [fNS16]. Diese Fehler sorgen dafür, dass eine Vielzahl von Zertifikaten zurückgerufen werden muss, aber nicht nur aufgrund der Menge ist das ein Problem, siehe [La14a] und [La14b].

2.2 SMTP mit TLS

Aufgrund der im Abschnitt 2.1 beschriebenen Konzeption bietet SMTP nur ein opportunistisches Sicherheitsmodell [Du14]. Dies geht davon aus, dass bei einer umfassenden sicheren Kommunikation mehrere Zwischenschritte angeboten werden, um mit jedem Kommunikationspartner dabei die höchst mögliche Sicherheitsstufe zu wählen, die Kommunikation noch zulässt [Re15b].

Diese sind:

1. **Unverschlüsselt und nicht authentifiziert:** Angreifer können die gesamte Kommunikation mitlesen oder ändern, es ist unklar wer der Kommunikationspartner ist.
2. **Verschlüsselt und nicht authentifiziert:** Die Verbindung ist verschlüsselt, man ist vor passiven Angriffen geschützt, und die Integrität der Daten auf dem Übertragungsweg ist sicher gestellt.
3. **Verschlüsselt und authentifiziert:** Durch die Authentifizierung des Kommunikationspartners ist die Verbindung auch durch MITM-Attacken geschützt.

Der Versand von Emails von MUA über den Message Submission Agent (MSA) erfolgt über SMTP [Ne99], wobei hier der Einsatz von TLS über einen dedizierten Port (465) mitgeteilt werden kann. Ein MSA kommuniziert im Allgemeinen nur mit einem oder wenigen Servern des eigenen Providers, so dass hier das klassische, vom Webbrowser bekannte Modell der Zertifikatsbehandlung verwendet wird.

Dies ist beim Mailtransport über SMTP zwischen MTAs, mit dem wir uns im Projekt „Steigerung der E-Mail Sicherheit in Bayern“ und in dieser Publikation befassen, nicht der Fall, hier wird Port 25 verwendet.

2.3 Probleme von SMTP-Verbindungen über TLS

Oft werden abgelaufene Zertifikate nicht erneuert, Common-Names im Zertifikat entsprechen nicht mehr den Servernamen oder das Zertifikat kann nicht durch eine lückenlose Zertifikatskette verifiziert werden. Es obliegt dem sendenden MTA auch bei einem Zertifikat, dessen Gültigkeit nicht verifiziert werden kann, eine opportunistische TLS-Verschlüsselung aufzubauen (Stufe 2 im Abschnitt 2.2). In einer kurzen Erhebung am Leibniz-Rechenzentrum (LRZ) waren 74% der Verbindungen beim Emailversand „Trusted“ [Re15b]. Wenn man also Mailversand nur an authentifizierte MTAs zulassen würde, führt das dazu, dass rund ein Viertel der Emails nicht versendet würden.

3 DANE und DNSSEC

DANE spezifiziert die über DNSSEC kryptographisch abgesicherte Zuordnung eines TLS-Zertifikats zu einem Server über DNS-Records vom Typ TLSA. Da dem DNS ohnehin vertraut werden muss (die MX-Records der Domain entscheiden darüber, wohin die Mails gesendet werden), ist es eine elegante Lösung, auch das Vertrauen in die TLS-Zertifikate an das DNS zu delegieren. TLSA-Records kann der Administrator der Domain selbst erstellen und verwalten, CAs, Zertifikatsketten und zurückgerufene Zertifikate gibt es nicht mehr, der Zertifikatsrückruf wird durch den Austausch des TLSA-Records ersetzt.

Damit eine Information im DNS wiederum vertrauenswürdig ist, muss die Maildomain und (!) die Domain des Mailservers mittels DNSSEC signiert sein und validiert werden, damit die bekannten Angriffspunkte auf DNS [AM07] vermieden werden können. Dafür wird ein asymmetrisches Signaturverfahren verwendet, um die Nameserverantworten zu authentifizieren und die Datenintegrität bei der Übertragung sicher zu stellen [Ar05a] und [Ar05b]. Details hierzu und Erfahrungen aus der Praxis am LRZ wurden schon in der einer früheren Publikation veröffentlicht [Re15a].

DANE bietet nicht nur die Möglichkeit die Authentizität eines (selbst-signierten) Zertifikats unabhängig (oder als zusätzliche Absicherung zu X.509 basierten Public Key Infrastructures (PKIX)) zu garantieren, sondern signalisiert einem DANE-fähigen Sender auch außerhalb des SMTP-Protokolls die Verfügbarkeit von TLS [HS12]. Dadurch werden Downgrade-Angriffe, wie in Abschnitt 2 beschrieben, verhindert. Falls die Verifizierung fehlschlägt, kann der MTA entscheiden, ob die TLS-Verbindung abgebrochen wird [DH15].

4 Herausforderungen bei der Einführung im Bayerischen Hochschulnetz

Während die Einführung in einer einzelnen Organisation sorgfältig geplant sein muss um Ausfälle zu vermeiden, stellt die Einführung im bayerischen Hochschulnetz (BHN) noch höhere Herausforderungen:

- Universitäten und Hochschulen sind autonom
- Vielzahl an Zonen, teilweise Verwaltung für angegliederte Hochschulen
- DNS und Mail sind essentielle Dienste: Angst vor Ausfällen
- Veraltete „legacy“ Nameserver, die kein DNSSEC unterstützen
- Software, die kein DANE unterstützt, z.B. MS Exchange als MTA oder zu altes Postfix
- MTAs in anderer Zone als Hochschulen (z.B. über DFN-Mailsupport)

- Wenig Erfahrung mit DNSSEC/DANE der Administratoren und wenig Manpower
- Integration ohne große Änderungen in die bestehende DNS-Verwaltung

5 Lösungen und Hilfestellungen

Die Chief Information Officers der bayerischen Universitäten und Hochschulen (siehe Abbildung 1) haben bereits 2015 beschlossen, DNSSEC und DANE zu unterstützen.



Abb. 1: Staatliche und nichtstaatliche Hochschulen und Universitäten in Bayern

Um die in Abschnitt 4 genannten Probleme anzugehen und die Einführung von DNSSEC und DANE im Bayerischen Hochschulnetz zu forcieren, hat das Bayerische Ministerium für Bildung und Kultus, Wissenschaft und Kunst[3] ein zweijähriges Förderprojekt gestartet, in dem das Leibniz Rechenzentrum der Bayerischen Akademie der Wissenschaften mit seiner Expertise den bayerischen Universitäten und Hochschulen Unterstützung und Schulung der Systemadministratoren anbieten kann.

[3] https://www.km.bayern.de/

Um den Umfang dieser Aufgabe einschätzen zu können, alle beteiligten Administratoren an einen Tisch zu bekommen und einen Überblick über die verwendeten Systeme zu erhalten, wurde 2015 eine erste Bestandsaufnahme durch Befragung der Netzwerkadministratoren durchgeführt. Diese hat das LRZ zusammen getragen und anhand dieser und den geäußerten Wünschen zur Unterstützung der beschlossenen Einführung von DNSSEC und DANE einen Projektplan erstellt.

Hierzu zählen die Bereitstellung von Dokumentation im LRZ Wiki. Da die allgemeine Suche nach DNSSEC/DANE im Internet zwar viele Treffer zu Tage fördert, aber aufgrund der schnellen Entwicklung der Standards in den letzten Jahren, und vor allem der Anpassung in der Softwareunterstützung zum Auffinden mittlerweile veralteter Konfigurationen oder Empfehlungen führt.

Ferner wurden hier präzise Howto-Artikel geschrieben, die anhand der langjährigen Erfahrungen im Betrieb von DNSSEC, seit 2015 [Re15a], und DANE, seit 2014 [Re15b], praktische Anleitungen für Referenzimplementierungen bieten.

Da aber die Zonenverwaltung in der Hand der autonom für Ihren Netzbereich handelnden Administratoren liegt, kann hier weder eine Lösung von oben herab verbindlich bestimmt werden, noch wäre eine zentralisierte Verwaltung angebracht. Dies widerspräche auch dem hierarchischen Charakter von DNS im allgemeinen. So liegt auch die Schlüsselverwaltung in den Händen der für eine bestimmten Nameserver verantwortlichen Administratoren, eine zentrale Schlüsselverwaltung wäre hier hinderlich und auch nicht gewünscht.

Insbesondere die richtige Handhabung des Schlüsselmanagements und die Durchführung von Key Rollovers ergibt sich erst in der Praxis. Hier soll den Systemadministratoren eine mühevolle Einarbeitung, mit Fehlversuchen und Sackgassen, sowie daraus resultierende Ausfälle der DNS- und Mailinfrastruktur ihrer Hochschulen erspart werden. Beispielsweise die Empfehlung, dass ein, zwischen die DNS-Verwaltung und den öffentlichen Nameserver geschalteter, „signing proxy“ am sinnvollsten ist, erschließt sich nur aus der Praxis, wird aber nicht in den diversen Anleitungen im Internet erwähnt. So können die bestehenden Werkzeuge zur Zonenverwaltung weiter verwendet werden, und die Schnittstellen zum und vom „signing proxy“ sind als einfacher Zonentransfer realisiert (siehe Abbildung 2).

So können auch die Systemadministratoren leichter von einer Einführung überzeugt werden, da dies vorerst keinen Eingriff in die bestehenden Systeme bedeutet. Wenn eine ungenutzte oder neu registrierte Domain dann als Testdomain verwendet werden kann, können dort selbst Erfahrungen im praktischen Betrieb gesammelt werden, ohne gleich ins kalte Wasser zu springen.

Von den Hochschulen und Universitäten wurden auch der Wunsch nach direkten Ansprechpartnern im LRZ und Kursen zur Schulung der Administratoren geäußert. Oben genannte Howtos und die Zusammentragung von Online-Tutorials, die sich auf den aktuellen Stand der Software beziehen, erlauben das Selbststudium, aber eine konzentrierte Schulung in Form eines Kurses und der Möglichkeit Fragen zu stellen ist für den Einstieg effektiver.

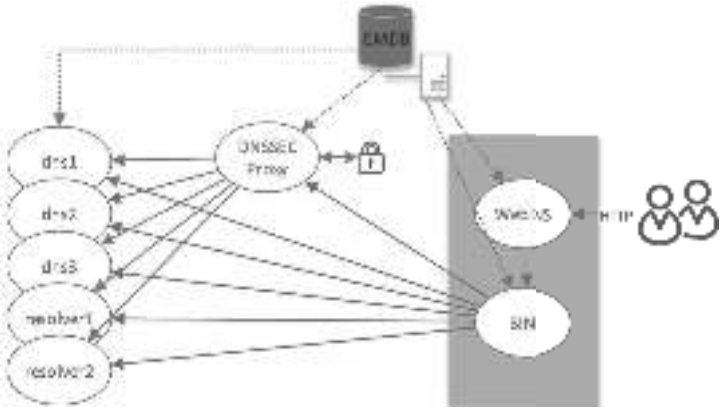


Abb. 2: Am LRZ verwendetes DNSSEC Signing Proxy Konzept mit BIND Nameservern. Die technischen Details sind in [Re15a] beschrieben.

Schon am Anfang des Projektes im November 2016 wurde ein zweitägiger Kurs am LRZ gegeben, an dem 12 Administratoren, hauptsächlich aus dem südbayerischen Raum, teilnahmen. Neben theoretischen und technischen Hintergründen wurde die Möglichkeit geboten auf eigens eingerichteten virtuellen Maschinen[4] Zonen zu signieren, Fehler zu debuggen, DANE einzurichten und den verifizierten TLS-Versand von Mails mit Postfix zu konfigurieren.

Daneben berichteten Kollegen, die für die Einrichtung von DNSSEC und DANE am LRZ verantwortlich waren, über Gründe für bestimmte Implementationsentscheidungen, Fallstricke und Erfahrungen aus dem Praxisbetrieb.

Um den nordbayerischen Adminstratoren eine weite Anreise zu ersparen, wurde derselbe Kurs, noch im März 2017, zusammen mit dem Regionalen Rechenzentrum Erlangen (RRZE)[5] veranstaltet. Hier berichtete der DNS-Administrator des RRZE auch über die Konfiguration von DNSSEC mit OpenDNSSEC[6], und die Unterschiede zu BIND9.

6 Fortschritt des Projekts

Mittlerweile läuft das Projekt seit einem halben Jahr, damit ist ein Viertel der Projektlaufzeit[7] verstrichen. Vor allem die Kurse mit den praktischen Übungen wurden von den Teilnehmern als sehr hilfreich angesehen. Zusammen mit den Howto-Artikeln zur Einrichtung von DNSSEC und DANE am Beispiel von BIND 9.9.5 und Postfix 2.11 haben die Administratoren

[4] Debian "Jessie"basiert, mit BIND 9.9.5 und Postfix 2.11, Konfiguration über Ansibleskripte
[5] https://www.rrze.fau.de/
[6] https://www.opendnssec.org/
[7] 1.10.2016-30.9.2018, https://www.lrz.de/forschung/projekte/forschung-netz/DNSSEC_DANE/

einen guten Einstieg in eigene Tests und die Möglichkeit, die Umstellung der eigenen Domänen möglichst reibungslos zu planen.

Darüber hinaus steht das LRZ jederzeit als Ansprechpartner zur Verfügung und kann Hilfestellung bei Problemen leisten, telefonisch oder über das Incident Ticket System.

Derzeit wird ein Konzept des gegenseitigen Monitorings der Korrektheit der DNSSEC Konfiguration erarbeitet, mit dem die Teilnehmer, die DNSSEC signierte Zonen betreiben, im Fehlerfall benachrichtigt werden. So wird die tagelange Nichterreichbarkeit ganzer Domains aufgrund abgelaufener Schlüssel verhindert.

Im Falle von DANE ergeben sich organisatorische Probleme, wenn der Mailserver in einer anderen Zone liegt. Dies ist bei einigen durch den DFN betriebenen Mailservices der Fall. Der für das Zertifikat hinterlegte TLSA-Eintrag muss hier in der Zone, in der der Mailserver erreichbar ist, hinterlegt und mit DNSSEC signiert sein.

Ein weiteres Problem stellen oben genannte nicht DNSSEC oder DANE-fähige Softwareversionen dar. Während zur DNSSEC-Unterstützung meist nur ein Upgrade des jeweiligen Nameservers notwendig ist, wiegt schwerer, dass Microsoft Exchange kein ausgehendes DANE unterstützt. Wenngleich mit dem Betrieb eines weiteren virtuellen oder physischen Servers verbunden, kann dies doch mit einem nachgeschaltetem Postfix-Server als Mail Relay elegant gelöst werden. Diese Lösung wird auch am LRZ betrieben.

7 Fazit

Obwohl DNSSEC und DANE keine „rocket science“ sind, erfordern sie doch als neue Technologien Einarbeitung und Sorgfalt bei der Konfiguration. Um den Administratoren eine mühevolle Einarbeitung und Fehler zu ersparen ist dieses, durch das Bayerische Wissenschaftsministerium geförderte, Projekt extrem wichtig für eine reibungslose und zügige Einführung von DNSSEC und DANE im Bayerischen Hochschulnetz.

Das Ziel des Projektes ist eine möglichst flächendeckende Einführung von DNSSEC und DANE im BHN. Dies wird aktiv unterstützt durch die beschriebenen Maßnahmen und Infrastrukturen sowie einer regelmäßige Abstimmung mit den Administratoren, Feedback, Erfassung der Fortschritte in der Konfiguration der Nameserver mit DNSSEC und einer schnellen Hilfestellung im Problemfall.

Trotz der durchweg positiven Reaktionen der teilnehmenden Hochschulen, von denen ein Großteil an unseren Schulungen teilgenommen hat, ist bisher nur an einigen wenigen Hochschulen die Umstellung auf DNSSEC erfolgt. DANE wird von den am LRZ betriebenen Mailservern abgesehen, sonst bisher nur von der FAU unterstützt.

Oft wurden als Gründe das Abwarten größerer anderer geplanter Updates oder Zeitmangel genannt, da anderen Maßnahmen eine höhere Priorität zugewiesen wurde. Die Einführung

von DNSSEC und DANE stellt somit weniger ein technisches Problem, als ein organisatorisches Problem dar.

Literaturverzeichnis

[AM07] Ariyapperuma, Suranjith; Mitchell, Chris J.: Security Vulnerabilities in DNS and DNSSEC. In: Proceedings of the The Second International Conference on Availability, Reliability and Security. ARES '07, IEEE Computer Society, Washington, DC, USA, S. 335–342, 2007.

[Ar05a] Arends, R.; Austein, R.; Larson, M.; Massey, D.; Rose, S.: DNS Security Introduction and Requirements. RFC 4033, RFC Editor, March 2005. http://www.rfc-editor.org/rfc/rfc4033.txt.

[Ar05b] Arends, R.; Austein, R.; Larson, M.; Massey, D.; Rose, S.: Resource Records for the DNS Security Extensions. RFC 4034, RFC Editor, March 2005. http://www.rfc-editor.org/rfc/rfc4034.txt.

[DH15] Dukhovni, V.; Hardaker, W.: The DNS-Based Authentication of Named Entities (DANE) Protocol: Updates and Operational Guidance. RFC 7671, RFC Editor, October 2015.

[Du14] Dukhovni, V.: Opportunistic Security: Some Protection Most of the Time. RFC 7435, RFC Editor, December 2014.

[fNS16] for Network, European Union Agency; Security, Information: , Certificate Authorities - The Weak Link of Internet Security. https://www.enisa.europa.eu/publications/info-notes/certificate-authorities-the-weak-link-of-internet-security, 2016.

[Ho02] Hoffman, P.: SMTP Service Extension for Secure SMTP over Transport Layer Security. RFC 3207, RFC Editor, February 2002. http://www.rfc-editor.org/rfc/rfc3207.txt.

[HS12] Hoffman, P.; Schlyter, J.: The DNS-Based Authentication of Named Entities (DANE) Transport Layer Security (TLS) Protocol: TLSA. RFC 6698, RFC Editor, August 2012. http://www.rfc-editor.org/rfc/rfc6698.txt.

[HW82] Harrenstien, K.; White, V.: NICNAME/WHOIS. RFC 812, RFC Editor, March 1982.

[La14a] Langley, Adam: , No, don't enable revocation checking. https://www.imperialviolet.org/2014/04/19/revchecking.html, 2014.

[La14b] Langley, Adam: , Revocation still doesn't work. https://www.imperialviolet.org/2014/04/29/revocationagain.html, 2014.

[Ne99] Newman, Chris: Using TLS with IMAP, POP3 and ACAP. RFC 2595, RFC Editor, June 1999. http://www.rfc-editor.org/rfc/rfc2595.txt.

[Po81] Postel, J.: Simple Mail Transfer Protocol. RFC 788, RFC Editor, November 1981.

[Re00] Rescorla, E.: HTTP Over TLS. RFC 2818, RFC Editor, May 2000. http://www.rfc-editor.org/rfc/rfc2818.txt.

[Re15a] Reiser, Helmut; Feuchtinger, Daniel; Hommel, Wolfgang; Schmidt, Bernhard; Storz, Michael: DNSSEC - Konzepte und Betriebsaspekte des Domain Name Systems der Zukunft. Praxis der Informationsverarbeitung und Kommunikation, 38(1-2):71–81, 2015.

[Re15b] Reiser, Helmut; Feuchtinger, Daniel; Hommel, Wolfgang; Schmidt, Bernhard; Storz, Michael: E-Mail made in Science - Sicherheit für den E-Mail Transport mit DANE TLSA. Praxis der Informationsverarbeitung und Kommunikation, 38(1-2):23–41, 2015.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 773

Die Volksverschlüsselung: Förderung vertrauenswürdiger Ende-zu-Ende-Verschlüsselung durch benutzerfreundliches Schlüssel- und Zertifikatsmanagement

Dominik Spychalski[1], Levona Eckstein[1], Michael Herfer[1], Daniel Trick[1], Tatjana Rubinstein[2]

Abstract: Obwohl schon seit Jahren standardisierte sichere Verschlüsselungsverfahren existieren und diese auch von den meisten E-Mail-Anwendungen unterstützt werden, hat sich vertrauenswürdige Ende-zu-Ende-Verschlüsselung in der E-Mail-Kommunikation bis heute noch nicht flächendeckend etabliert. Als Ursachen für die geringe Nutzung werden u.a. die für viele Nutzer zu komplizierten und wenig benutzerfreundlichen Prozesse zur Schlüsselbeschaffung und zur Einrichtung der genutzten Anwendungen genannt. Dieser Beitrag beschreibt die Lösung der Volksverschlüsselung, die alle Prozesse zur Erzeugung und Zertifizierung von kryptografischen Schlüsseln sowie deren Integration in bestehende Anwendungen automatisiert durchführt und einfach zu bedienen ist.

Keywords: Ende-zu-Ende-Verschlüsselung; S/MIME; OpenPGP; Zertifizierung; Public Key Infrastructure; Gebrauchstauglichkeit

1 Einführung und Motivation

Nach einer Analyse der beiden größten deutschen E-Mail-Anbieter hat sich die Anzahl der jährlich versendeten E-Mails seit dem Jahr 2010 auf ungefähr 625,8 Milliarden verdoppelt. Ein ähnliches Wachstum wird für die nächsten Jahre erwartet[3]. Das Einsatzszenario der E-Mail als Kommunikationsmedium der Wahl reicht dabei von einer rein privaten Nutzung bis hin zur Übermittlung sensibler Informationen innerhalb eines geschäftlichen Kontextes. Dennoch verschlüsseln nach einer Umfrage des Digitalverbandes BITKOM nur etwa 15 % der Nutzer in Deutschland ihre E-Mails[Ve].

Wird eine E-Mail versendet, wird diese über eine unbestimmte Anzahl von Knotenpunkten (den Mailservern) im Internet geleitet, bis sie letztendlich dem gewünschten Empfänger zugestellt wird. Dritten, die nicht direkt an der Kommunikation beteiligt sind und Zugriff auf den Transportweg der E-Mail haben, ist es mit einfachen Mitteln möglich, sowohl den Inhalt

[1] Fraunhofer-Institut für Sichere Informationstechnologie, Cloud Computing and Identity & Privacy, Rheinstraße 75, 64295 Darmstadt, Deutschland, ⟨vorname⟩.⟨nachname⟩@sit.fraunhofer.de
[2] Fraunhofer-Institut für Sichere Informationstechnologie, Security Management, Schloss Birlinghoven, 53754 Sankt Augustin, Deutschland, tatjana.rubinstein@sit.fraunhofer.de
[3] https://newsroom.web.de/2017/02/13/2016-rekordjahr-fuer-e-mail/

doi:10.18420/in2017_76

als auch die Kommunikationsmetadaten der E-Mail einzusehen. Letztere ermöglichen eine Profilbildung der Kommunikationspartner. Durch transportweg-absichernde Mechanismen der Provider, wie zum Beispiel *SSL/TLS*, können diese Informationen unberechtigten Dritten gegenüber geschützt werden. Auf den Knotenpunkten selbst ist die E-Mail jedoch noch immer im Klartext einsehbar.

Die Vertraulichkeit der E-Mail und der damit einhergehende Schutz der Privatsphäre und des Rechts auf informationelle Selbstbestimmung der Kommunikationspartner kann nur durch Nutzung einer durchgängigen Ende-Zu-Ende-Verschlüsselung gewährleistet werden. Bei Einsatz der Ende-Zu-Ende-Verschlüsselung wird die zu versendende E-Mail noch vor dem Verlassen des Systems des Absenders mit kryptographischen Hilfsmitteln verschlüsselt und erst auf dem System des adressierten Empfängers entschlüsselt. Durch die Kombination der provider-seitigen und der nutzer-seitigen Schutzmechanismen der Transportwegsicherung und der Ende-Zu-Ende-Verschlüsselung kann somit nicht nur die Vertraulichkeit der E-Mail, sondern auch der Schutz vor Profilbildung gewährleistet werden.

Die zur Ende-zu-Ende-Verschlüsselung verwendeten kryptographischen Mechanismen und konzeptuellen Modelle, wie *S/MIME*[TR10] und *OpenPGP*[Fi07], sind nicht nur schon seit vielen Jahren etabliert und beweisbar sicher, sondern auch in fast allen gängigen E-Mail-Anwendungen nativ integriert oder zumindest über etablierte Plugins nutzbar. Egal ob S/MIME oder OpenPGP, der Einsatz setzt entsprechende Fachkenntnisse voraus, welche insbesondere nicht technikaffine Anwender davor abschrecken, Ende-zu-Ende-Verschlüsselung zu nutzen.

Hier setzt die vom Fraunhofer-Institut für Sichere Informationstechnologie entwickelte Lösung *Volksverschlüsselung* an, welche Gegenstand dieses Beitrags ist.

2 Projektziele

Um die Nutzung der Ende-zu-Ende-Verschlüsselung in den existierenden Anwendungen signifikant zu erhöhen, verfolgt die Initiative Volksverschlüsselung folgende Ziele:

Gebrauchstauglichkeit: Alle Prozesse der lokalen Schlüsselerzeugung, der Authentifikation des Nutzers, der Zertifizierung des öffentlichen Schlüsselmaterials sowie die Integration in den späteren Anwendungen sollen so weit wie möglich automatisiert durchgeführt werden, so dass eine maximale Laientauglichkeit erreicht wird.

Identifizierende Schlüssel: Ein Zertifikat der Volksverschlüsselung, welches die Zuordnung eines Schlüssels zu einer Person bescheinigt, ist immer an die reale Identität des Schlüsselinhabers und an eine E-Mail-Adresse gebunden. Es werden nur geprüfte Inhalte in das Zertifikat übernommen. Hierbei werden die vom BSI definierten Qualitätsanforderungen hinsichtlich der verwendeten Verschlüsselungsverfahren und der erzeugten Schlüssel berücksichtigt.

Offene Schnittstellen: Die Infrastruktur muss die Möglichkeit bieten, von beliebigen Applikationen genutzt zu werden, sofern die Schnittstellen eingehalten werden.

Verwendung von Verschlüsselungsstandards: Um die flächendeckende Ende-Zu-Ende-Verschlüsselung zu fördern, sollen die etablierten Modelle *S/MIME* und *OpenPGP* unterstützt werden.

Datenschutz und Datensparsamkeit: Es sollen nur die im Rahmen identifizierender Schlüssel unbedingt notwendigen Daten auf eine datenschutzfreundliche Art und Weise erhoben und persistiert werden.

Transparenz: Die Prozesse der lokalen Schlüsselerzeugung und -verwendung müssen transparent sein.

Keine Kosten für Privatnutzer: Die Schlüssel und Zertifikate sollen für Privatanwender dauerhaft kostenlos sein.

3 Verwandte Lösungen

Für den Bezug der für *S/MIME* benötigten Zertifikate hat ein Nutzer verschiedene Zertifizierungsstellen zur Auswahl, wobei sich die ausgestellten Zertifikate durch ihre Klasse in ihrer Qualität unterscheiden können: Bei Zertifikaten der Klasse 1 erfolgt lediglich eine Überprüfung der E-Mail-Adresse, Klasse 2 Zertifikate verifizieren zusätzlich die Identität des Beantragenden anhand externer Quellen, Zertifikate der Klasse 3 setzten das persönliche Ausweisen des Beantragenden voraus.

Deutsche und europäische X.509-Zertifizierungsstellen wie *D-Trust*, *T-Systems*, *SwissSign*, *GlobalSign* und *Comodo* bieten in der Regel nur kostenpflichtige Klasse 3 Zertifikate an. Der Anbieter *Comodo* bietet zusätzlich kostenlose Zertifikate der Klasse 1 an. Der Vorteil dieser Zertifizierungsinstanzen besteht darin, dass ihre Stammzertifikate bereits in den gängigen Betriebssystemen und Browsern integriert sind, wodurch sie ohne zusätzliche Konfiguration als vertrauenswürdig eingestuft werden. Ist ein Hersteller von der Vertrauenswürdigkeit einer Zertifizierungsinstanz nicht mehr vollends überzeugt, kann, wie in den Fällen der Zertifizierungsinstanzen *WoSign* und *StartCom*[4] geschehen, die Integration auch wieder rückgängig gemacht werden.

Die deutsche Firma *Virtual Solution* stellt mit *SecurePIM*[5] eine mobile E-Mail-App für Android und Apple iOS bereit, die einen einfachen E-Mail-Client bietet und direkt an die Schweizer Zertifizierungsstelle *SwissSign* zur Ausstellung von Klasse 1 Zertifikaten angebunden ist. Die Schlüsselgenerierung erfolgt lokal. Nach einer kostenlosen Testphase ist die Lösung jedoch kostenpflichtig.

[4] https://www.heise.de/security/meldung/Zertifizierungsstellen-WoSign-und-StartCom-verlieren-Apples-und-Mozillas-Vertrauen-3341294.html
[5] https://virtual-solution.com

In Bezug auf die vertrauenswürdige Beglaubigung von PGP-Schlüsseln können die Offline-Zertifizierungsstellen des *Heise Verlags*[6] oder des *Instituts für Internet-Sicherheit*[7] verwendet werden. Zur Zertifizierung ist immer ein persönlicher Kontakt erforderlich, da die Überprüfung der Identität auf Basis eines gültigen Ausweisdokumentes erfolgt. Die Bearbeitungszeit der Zertifizierungsanträge liegt zwischen 6 und 8 Wochen. Der Prozess des Signaturwiderrufs ist nicht spezifiziert.

Die deutschen Mail-Anbieter *Web.de* und *GMX*, beide Töchter der *United Internet AG*, unterstützen pgp-basierte Ende-Zu-Ende-Verschlüsselung in ihren Webmailern nativ. Voraussetzung dafür ist jedoch, dass der Nutzer die Open-Source-Browser-Erweiterung *Mailvelope* installiert hat. Durch das Plugin wird der Schlüssel auf dem lokalen Gerät des Nutzers erzeugt. Sein öffentlicher Teil wird später in einem internen Adressbuch veröffentlicht, was eine benutzerfreundliche ende-zu-ende-verschlüsselte Kommunikation der Nutzer direkt über das Frontend erlaubt. Eine Identitätsvalidierung oder ein Vertrauensmodell bietet der Ansatz jedoch nicht.

4 Vertrauensmodelle

Die beiden etablierten Ansätze *S/MIME* und *OpenPGP* verfolgen das gleiche Ziel, verwenden asymmetrische Kryptographie und setzen voraus, dass Sender und Empfänger ein system-spezifisch zertifiziertes kryptographisches Schlüsselpaar besitzen. In der Umsetzung unterscheiden sich beide Ansätze durch die jeweilig eingesetzten Vertrauensmodelle jedoch elementar: Während *S/MIME* auf den zentralisierten Ansatz einer hierarchischen Zertifizierungsstruktur aufbaut, verwendet *OpenPGP* das dezentrale Modell des *Web of Trust*[AR97]. Das zugrunde liegende Vertrauensmodell ist notwendig, um die Vertrauenswürdigkeit eines öffentlichen Schlüssels in Form eines Zertifikates zu bescheinigen. Ein Zertifikat ist eine Datenstruktur, welche mit kryptographischen Hilfsmitteln ein Objekt fest an ein Subjekt bindet.

Im zentralisierten *S/MIME*-Modell muss ein Nutzer auf die ordnungsgemäße Prüfung der Schlüsselzugehörigkeit durch die zentrale Instanz, die Zertifizierungsstelle (*Certification Authority, CA*), vertrauen. Nach erfolgreicher Prüfung stellt die Zertifizierungsstelle ein Zertifikat entsprechend der internationalen Norm X.509[ITR00] für den öffentlichen Teil des kryptographischen Schlüssels aus. Das X.509-Zertifikat stellt eine atomare Datenstruktur dar. Die Definition der Verifikations- und Betriebsprozesse sind über die veröffentlichten *Zertifizierungsrichtlinien* und die *Erklärung zum Zertifizierungsbetrieb* einsehbar. Die Qualität der durch die zentrale Instanz ausgestellten Zertifikate ist dadurch äquivalent. Um die Gültigkeit eines Zertifikats zu prüfen, müssen alle Zertifikate der Zertifizierungskette, bis hin zum Wurzelzertifikat, geprüft werden. Der Widerruf eines Zertifikates erfolgt

[6] https://www.heise.de/security/dienste/Was-ist-die-c-t-Krypto-Kampagne-473381.html
[7] https://www.internet-sicherheit.de/pgpzi/

analog der Ausstellung durch die Zertifizierungsstelle. Der Austausch eines Zertifikates kann persönlich initiiert oder mit Hilfe eines Verzeichnisdienstes erfolgen.

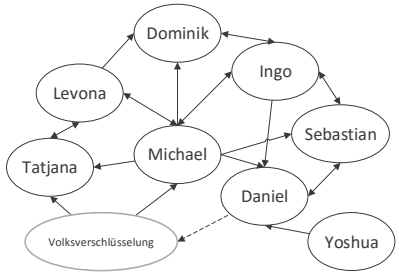


Abb. 1: *Web of Trust*: Nutzer bescheinigen gegenseitig die Authentizität eines Schlüssels mittels einer Signatur. Die *Volksverschlüsselung* stellt eine vertrauenswürdige externe Instanz dar.

Wie in Abbildung 1 schematisch illustriert, wird bei *OpenPGP* die an einen öffentlichen Schlüssel gebundene Identität (die so genannte *UID*) durch andere dem *Web of Trust* angehörige Nutzer in Form einer Signatur beglaubigt (dargestellt durch gerichtete Kanten). Dafür muss technisch nicht zwangsläufig eine explizite Identitätsprüfung erfolgen. Die ordnungsgemäße Überprüfung der Schlüsselzugehörigkeit liegt im Verantwortungsbereich des signierenden Nutzers, wodurch die Qualität von durch verschiedene Nutzer ausgestellte Signaturen nicht prinzipiell vergleichbar ist. Schwierig wird die verantwortungsbewusste Ausstellung einer Signatur vor allem dann, wenn man den Besitzer des öffentlichen Schlüssels nicht persönlich kennt oder der Schlüssel nicht im persönlichen Kontakt ausgetauscht wurde. Abhilfe schafft die Beglaubigung der Identität des Schlüsselinhabers durch eine vertrauenswürdige externe Instanz.

Die Datenstruktur eines PGP-Zertifikates, welches während der Erstellung des kryptographischen Schlüssels automatisch mit erzeugt wird, ist modular, wodurch es auf verschiedenen Schlüsselservern verteilt und später lokal rekonstruiert werden kann. Analog zu *S/MIME* kann das Zertifikat auch persönlich initiiert ausgetauscht werden.

Im PGP-Kontext gibt es zwei verschiedene Widerrufs-Mechanismen: Zum einen kann über die Publikation eines sich im Besitz des Nutzers befindlichen Widerrufs-Zertifikat der PGP-Schlüssel im Gesamten gesperrt werden, zum anderen kann über die Publikation einer auf eine explizite Signatur referenzierte Widerrufs-Signatur nur diese zurückgezogen werden.

Durch die konzeptuellen Unterschiede der Verfahren werden an die jeweilig eingesetzten Formate und Strukturen unterschiedliche Anforderungen gestellt. Das hat zur Folge, dass beide Ansätze nicht kompatibel zu einander sind, wodurch sich Sender und Empfänger zunächst auf eines der Verfahren einigen müssen, wenn sie ende-zu-ende-verschlüsselt miteinander kommunizieren möchten.

5 Architektur und Funktionsweise

Das Gesamtsystem *Volksverschlüsselung* unterteilt sich in eine Client- und eine Serverseite. Die Clientseite, die *Volksverschlüsselung-Software (VV-SW)*, dient der Unterstützung des beantragenden Nutzers und automatisiert alle notwendigen Schritte so weit wie möglich.

Das zu zertifizierende Schlüsselmaterial wird durch die Software lokal generiert. Im Falle der PGP-Zertifizierung kann es zusätzlich aus externen Anwendungen bezogen werden.

Serverseitig unterteilt sich die Infrastruktur der *Volksverschlüsselung*, wie in Abbildung 2 schematisch illustriert, in zwei verschiedene physisch getrennte Netze und mehrere verschiedene Komponenten. So ist das Netz der Zertifizierungsstelle (CA-Server), welches auch das für ihre kryptographischen Schlüssel verwendete und nach FIPS-140-2 Level 3 zertifizierte *Hardware-Sicherheitsmodul (HSM)* beinhaltet, strikt von dem öffentlich zugänglichen Netz der Registrierungsstelle (RA-Server) getrennt.

Die Kommunikation zwischen *VV-SW* und Server-Infrastruktur erfolgt über die REST-Schnittstelle des RA-Servers. Die Schnittstelle steht der Entwicklung eigener Client-Anwendungen durch Dritte offen gegenüber. Der RA-Server ist für die Durchführung der Authentifizierung sowie die Korrektheit aller eingehenden Zertifizierungsparameter verantwortlich. Abhängig des durch den beantragenden Nutzer gewählten Authentifizierungsverfahrens können weitere externe Dienste notwendig sein. So ist zum Beispiel der *eID-Service* eines externen Dienstleisters zur Nutzung der Online-Ausweisfunktion des deutschen Personalausweises angebunden.

Die erfolgreich validierten Zertifizierungsanfragen werden durch die entsprechende Zertifizierungsinstanz verarbeitet, welche die Zertifikate ausstellt. Die Bearbeitungszeit beträgt, Abhängig von dem aktuellen Anfrageaufkommen, nur wenige Minuten. Der Datenaustausch zwischen RA-Server und CA-Server erfolgt im *Polling Modus*. Das bedeutet, dass die Übertragung der Zertifizierungsanfragen und der ausgestellten Zertifikate stets durch den CA-Server initiiert wird. Ein Zugriff auf ihn von außerhalb ist technisch nicht möglich.

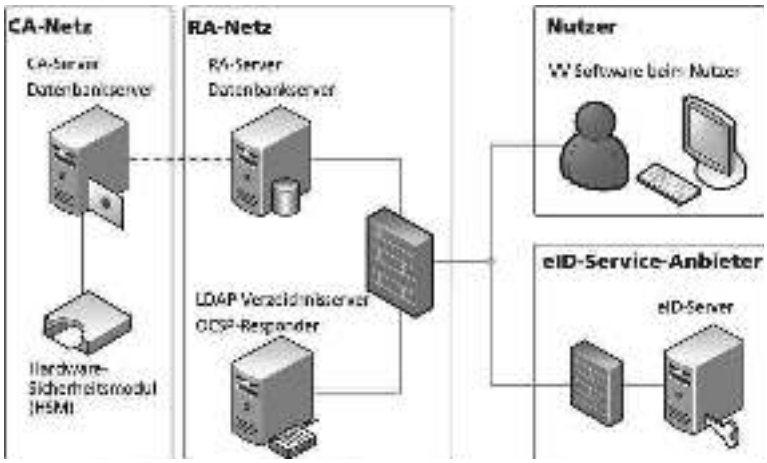


Abb. 2: Abstrakte Darstellung der Komponenten der *Volksverschlüsselung*.

Weitere Dienste der Volksverschlüsselung sind unter anderem das Adressbuch (der Verzeichnisdienst) sowie der *OCSP-Responder (Online Certificate Status Protocol, RFC*

6960), welcher nahezu Echtzeitinformationen über den Zustand eines X.509-Zertifikates der Volksverschlüsselung erlaubt. Zur Verteilung der Revokationsinformationen werden Zertifikats-Sperrlisten *(Certificate Revocation List, CRL)* erzeugt. Der Publikationsort dieser Listen ist innerhalb der Zertifikate fest kodiert, wodurch sie automatisch durch die vom Nutzer eingesetzten E-Mail-Anwendungen zu beziehen sind.

Der Verzeichnisdienst der Volksverschlüsselung basiert auf einem OpenLDAP-Server. In ihm werden die Verschlüsselungszertifikate sowie die E-Mail-Adresse und der Namen der Nutzer hinterlegt. Die Veröffentlichung ist optional und kann während des Zertifizierungsprozesses in der Client-Anwendung beantragt werden. Der Zugriff auf das Adressbuch erfolgt innerhalb eines anonymen Kontextes, wodurch es auch durch Nutzer anderer Zertifizierungsinstanzen verwendet werden kann. Aus Gründen des Datenschutzes sieht der Verzeichnisdienst vor, dass eine Suchanfrage nur auf Basis einer vollständigen E-Mail-Adresse erfolgen darf. Das Auslesen aller veröffentlichten Nutzerdaten ist nicht möglich.

Die zentrale Infrastruktur der Volksverschlüsselung wird in einem gemäß ISO 27001 zertifizierten Rechenzentrum der *Deutschen Telekom AG* in Deutschland betrieben. Die Entwicklung der Volksverschlüsselung und Zertifizierungsverantwortung liegt ausschließlich bei Fraunhofer SIT.

6 Das Zertifizierungsmodell

Durch die technischen und konzeptionellen Unterschiede der beiden Vertrauensmodelle *S/MIME* und *OpenPGP* ist eine gemeinsame technologie-übergreifende Nutzung von nur einer Zertifizierungsinstanz nicht möglich.

Das entworfene Modell sieht daher, wie in Abbildung 3 illustriert, den parallelen Betrieb zweier zentraler Zertifizierungshierarchien vor, welche organisatorisch jedoch als eine Komponente betrachtet werden. Der hierarchische Aufbau erlaubt, neben der Bündelung des Vertrauens in einem zentralen Wurzelknoten, auch eine organisatorische und funktionsbezogene Gruppierung der später ausgestellten X.509-Zertifikate bzw. PGP-Signaturen. Die Zertifizierungsinfrastruktur der Volksverschlüsselung umfasst folgende Zertifizierungsstellen (*CAs*):

- Eine *Root-CA* für jedes $Format \in \{X.509, PGP\}$, welche den jeweiligen Vertrauensanker der korrespondierenden Zertifizierungshierarchie darstellt (siehe Abbildung 3). Das Zertifikat ist selbst signiert und hat eine Laufzeit von 7 Jahren. Der Betrieb einer eigenen *Root-CA* war notwendig, um die in Abschnitt 2 definierten Projektziele zu erreichen. Die Stammzertifikate sind jedoch noch nicht auf den gängigen Plattformen integriert.
- Eine *Private-CA* für jedes $Format \in \{X.509, PGP\}$. Diese Zertifizierungsstelle stellt kostenlose X.509-Zertifikate bzw. PGP-Signaturen zur privaten Nutzung mit einer Laufzeit von 2 Jahren aus. Das CA-Zertifikat hat eine Laufzeit von 5 Jahren.

- Eine oder mehrere *Business-CA(s)* für jedes $Format \in \{X.509, PGP\}$. Diese Zertifizierungsstellen stellen, analog der *Private-CAs*, X.509-Zertifikate bzw. PGP-Signaturen für Endnutzer aus. Die ausgestellten Zertifikate sind nach den Lizenzbestimmungen der Volksverschlüsselung im Kontext einer geschäftlichen Nutzung verwendbar.
- Die *Internal-Service-CA* stellt eine Zertifizierungsstelle dar, welche ausschließlich X.509-Zertifikate für interne Komponenten zum Aufbau sicherer Kommunikationsverbindungen ausstellt.

Das Zertifikat einer Zertifizierungsstelle ist stets durch die übergeordnete Zertifizierungsstelle ausgestellt und signiert. Die Zertifikate der PGP-Zertifizierungsstellen sind zusätzlich durch sich selbst signiert, man spricht von einer *Selbstsignatur*. In Abbildung 3 sind diese *Selbstsignaturen* durch Kanten dargestellt, bei welchen Anfang und Ende der gleiche Knoten ist. Die zugrunde liegenden Algorithmen und Sicherheitsparameter entsprechen den aktuellen Empfehlungen des BSI[Ma08].

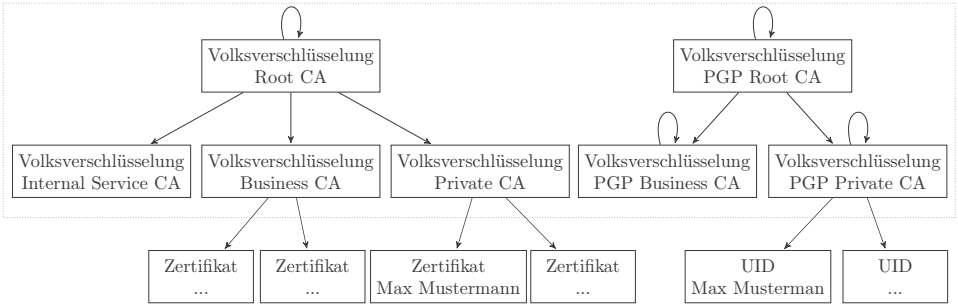


Abb. 3: Zertifizierungsarchitektur der Volksverschlüsselung: Paralleler Betrieb einer Zertifizierungsinstanz für hierarchische und einer PGP-CA für dezentrale Vertrauensmodelle. Signatur-Beziehungen werden durch Kanten Dargestellt: A $\rightarrow$ B $\equiv$ A signiert B.

6.1 Zertifizierungsparadigma

Der Prozess einer Zertifizierung ist im Kontext der Volksverschlüsselung standardisiert und generalisiert, so dass einzelne Module, wie zum Beispiel die Authentifizierung oder das Erzeugen der Zertifikate, austauschbar und erweiterbar sind. Ein Zustandswechsel innerhalb des Zertifizierungsprozesses erfolgt stets über definierte Schnittstellen und Formate, wodurch spezifische technische Gegebenheiten in der jeweiligen Implementierung abgebildet werden können.

Wie in Abbildung 4 schematisch illustriert, stellt die erfolgreiche Identifikation des Nutzers sowie die erfolgreiche Verifikation seiner E-Mail-Adresse eine Grundvoraussetzung für die Erstellung der X.509-Zertifikate bzw. PGP-Signaturen dar. Des Weiteren darf es zu jeder E-Mail-Adresse im Kontext der Volksverschlüsselung nur ein gültiges Zertifikat pro Zertifizierungsformat geben.

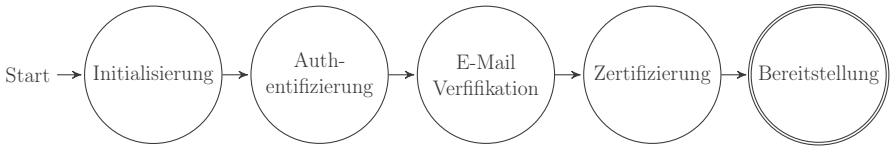


Abb. 4: Abstrakte Darstellung des Zertifizierungsprozesses der Volksverschlüsselung.

6.2 Zertifikatsqualität durch Identitätsprüfung

Ein elementarer Punkt der vertrauenswürdigen Ende-Zu-Ende-Verschlüsselung liegt vor allem in der Authentizität des zu verwendenden kryptographischen Schlüsselmaterials. Es muss sicher gestellt sein, dass der eingesetzte kryptographische Schlüssel auch wirklich von der angegebenen Person stammt.

Zertifikate der Volksverschlüsselung basieren stets auf einer starken Identitätsprüfung. Ein Zertifikatsempfänger kann somit sicher sein, dass die im Zertifikat kodierte Identität der realen Identität des Inhabers entspricht. Hierzu hat die Volksverschlüsselung aktuell folgende Verfahren angebunden:

Online-Ausweisfunktion des Personalausweises[Ma11, NK10]: Für das Auslesen von Name, Vorname(n) und ggf. Titel wurde ein technisches Zertifikat der *Vergabestelle für Berechtigungszertifikate* erworben.

Kundenkonto der Telekom: Festnetzkunden der Deutschen Telekom AG können sich mit dem dazu gehörigen Kundenkonto authentifizieren, da ihre Identität bei Vertragsabschluss ausreichend verifiziert wurde.

Registrierungscode: Für Personen, für welche die Nutzung der bisher genannten Methoden nicht in Frage kommt, wurde das Verfahren der *Vor-Ort-Registrierung* geschaffen. Nutzer können eine Registrierungscode-Karte (Abbildung 5) in einem persönlichen Kontakt mit Fraunhofer SIT gegen Vorlage eines gültigen Ausweisdokumentes[8] erhalten. Die Datenerhebung ist hierbei analog der des eID-Verfahrens. Nach Aktivierung ist der Registrierungscode 28 Tage gültig.



Abb. 5: Registrierungskarte der Volksverschlüsselung.

SmartCard der Fraunhofer-Gesellschaft: Mitarbeiter der Fraunhofer-Gesellschaft können sich auf Basis ihrer SmartCard auf einer nur aus dem internen Netzwerk adressierbaren Web-Schnittstelle Registrierungscodes beschaffen, welche zu denen der *Vor-Ort-Registrierung* äquivalent sind.

[8] Personalausweise, Reisepässe der EU-Mitgliedsstaaten

7 Realisierungs- und Betriebsdetails

Zur Umsetzung der Komponenten der Volksverschlüsselung wurden, unter Berücksichtigung der Sicherheitsanforderungen, verschiedene etablierte OpenSource-Technologien eingesetzt. Während des gesamten Entwicklungsprozesses lag der Fokus stets auf der Gebrauchstauglichkeit. Diese wurde durch eine Studie der *Universität der Künste Berlin*, eigene Nutzertests sowie studentische Arbeiten analysiert und immer weiter verbessert.

7.1 Volksverschlüsselung-Software

Die Client-Software der Volksverschlüsselung wurde zunächst für *Microsoft Windows* und auf Basis von *Microsoft.NET* (Version 4.5) entwickelt. Als Programmiersprache kommt hierbei *C#* zum Einsatz. Zur Darstellung der graphischen Benutzeroberfläche wird *WPF (Windows Presentation Foundation)* bzw. *XAML (Extensible Application Markup Language)* genutzt. Für die Umsetzung der kryptographischen Funktionen wurde mit *Bouncy Castle*[9] auf eine etablierte OpenSource-Bibliothek zurückgegriffen. Als lokale Verwaltungsdatenbank wird *SQLite*[10] eingesetzt. Alle vertraulichen Daten, wie etwa die privaten Schlüssel, sind kryptographisch über den Windows-Schlüsselspeicher abgesichert. Zwecks Konfiguration der Anwendungsprogramme ist die Client-Software mit einer Plugin-Schnittstelle ausgestattet, so dass mit geringem Aufwand weitere Anwendungsprogramme integriert werden können. Aktuell stehen Plugins für *Mozilla* (*Thunderbird*, *SeaMonkey* und *Firefox*), *Microsoft Outlook*, *Google Chrome* sowie *Windows Live-Mail* zur Verfügung. Zur Anbindung der Online-Ausweisfunktion des Personalausweises ist die vom *BSI* zertifizierte *Open eCard App*[11] in der Client-Software integriert.

Die Backup-Funktion des Clients ermöglicht das Verteilen der Schlüssel auf andere Plattformen. Über den Export eines *Konfigurations-Profiles* z.B. ist eine einfache Integration der Schlüssel auf Apple-Geräten möglich, während das *PKCS#12-Format*[Mo14] eine plattform-unabhängige Verteilung erlaubt. Über die eingebaute Auto-Update-Funktion wird die Software stets auf dem aktuellen Stand gehalten.

Die Software ist mit einem *Extended Validated Code Signing*-Zertifikat der Zertifizierungsstelle *GlobalSign* signiert, wodurch sie eindeutig und öffentlich verifizierbar ihrem ordnungsgemäßen Herausgeber zugeordnet ist und Manipulationsversuche durch Dritte festgestellt werden können. Ferner ist es möglich, die Anwendungen auf Basis des zur Einsicht veröffentlichten Quellcodes selbständig zu kompilieren. Die Veröffentlichung schafft Transparenz hinsichtlich der Erstellung und Weitergabe des kryptographischen Schlüsselmaterials.

[9] http://www.bouncycastle.org/
[10] https://www.sqlite.org/
[11] https://www.openecard.org

7.2 Registrierungsstelle

Die Registrierungsstelle der Volksverschlüsselung wurde auf Basis der Programmiersprache Java und des *Play Frameworks* entwickelt, welches den Aufbau stark skalierender, zustandsloser und robuster Web-Anwendungen erlaubt. Als Persistenzschicht wird eine MySQL-Datenbank eingesetzt. Die durch die Registrierungsstelle erhobenen personenbezogenen Daten sind aus Datenschutzgründen auf das zur Identifizierung des Schlüsselinhabers erforderliche Minimum beschränkt und werden stets mit einem individuellen Zufallswert und durch die kryptographische Hash-Funktion *SHA-256* verarbeitet gespeichert.

Geht eine Zertifizierungsanfrage ein, wird vor der Weitergabe an die Zertifizierungsstelle verifiziert, ob der dem Schlüssel zugrunde liegende kryptographische Algorithmus und die Größe des Sicherheitsparameter gültig sind und den aktuellen Empfehlungen des BSI[Ma08] entsprechen.

7.3 Zertifizierungsstelle

Zur Ausstellung der X.509-Zertifikate setzt die Volksverschlüsselung die *Enterprise JavaBeans Certification Authority (EJBCA)*[12] ein. *EJBCA* ist eine auf Java basierende OpenSource lizenzierte Zertifizierungsstelle, welche es erlaubt, skalierende und komplexe Zertifizierungsinfrastrukturen aufzubauen. Mitgelieferte Komponenten sind, neben der Zertifizierungsinstanz selbst, ein *OCSP-Responder* und eine Registrierungsstelle. Letztere konnte durch die speziellen Anforderungen der Volksverschlüsselung jedoch nicht verwendet werden.

Die im Rahmen der Volksverschlüsselung entwickelte PGP-Zertifizierungsstelle baut, analog zum Client, auf der etablierten Krypto-Bibliothek *BouncyCastle* auf. Das Referenzieren des *Hardware Sicherheitsmoduls* erfolgt per *CryptoServerProvider* der *Java Cryptography Extension (JCE)*. Die privaten Schlüssel der Zertifizierungsstelle werden innerhalb des *HSM* erzeugt und verlassen dieses auch während der Ausstellung einer Signatur nicht.

Zusätzlich zur Standardüberprüfung der Registrierungsstelle erfolgt die Verifikation der format-spezifischen Parameter des öffentlichen PGP-Schlüssels. Dazu gehören die verwendete PGP-Version und der strukturelle Aufbau der zu dem Schlüssel korrespondierenden UID[13]. Bei letzterer Überprüfung müssen der Inhalt sowie die Struktur der *UID* nach einem definierten Muster zu den aus dem gewählten Authentifizierungsverfahren bezogenen Nutzerinformationen passen.

[12] `https://www.ejbca.org/`

[13] *UID, User Identifier (RFC 4880 Abschnitt 5.11 und RFC 2822 Abschnitt 3.4):* Repräsentiert einen Namen (oder ein Pseudonym) des Schlüsselbesitzers vergleichbar mit dem *CommonName*-Attribut der X.509-Zertifikate.

7.4 Verzeichnisdienst

Aus Gründen des Datenschutzes ist die Suche eines Zertifikates auf dem Verzeichnisdienst nur auf Basis einer vollständigen E-Mail-Adresse möglich. Um diese Anforderung zu erfüllen, wurde der eingesetzte *OpenLDAP*-Server durch eine in der Programmiersprache *C* und unter Einsatz des integrierten *SLAPI Frameworks* entworfenen Erweiterung des Typs *preoperation* ergänzt. Erweiterungen dieses Typs werden in der *Overlay*-Schicht des Servers registriert und erlauben unter anderem das Verarbeiten eingehender Suchanfragen (Filter), noch bevor diese an das Backend des *OpenLDAP*-Servers zur Verarbeitung weiter gegeben werden.

Geht eine LDAP-Suchanfrage, egal welcher Komplexität, ein, wird zunächst nach dem ersten atomaren Filter basierend auf dem *mail*-Attribut gesucht. Ist ein solcher Filter gefunden, wird er unabhängig seines Typs (z.B. relationaler Vergleich oder Teilstring-Suche) zu einem Filter des Typs *equaly* transformiert. Filter des Typs *equaly* liefern genau dann ein Ergebnis, wenn der Filterwert genau dem Attributwert entspricht. Der Vergleich kann hierbei *case-sensitive* oder *case-insensitive* erfolgen. Wird kein Filter basierend auf dem *mail*-Attribut gefunden, wird ein neuer Filter erzeugt, welcher kein Suchergebnis liefert. Die Ergebnismenge einer Suchanfrage kann somit entweder eine Menge mit genau einem Eintrag oder die leere Menge sein.

8 Fazit und Ausblick

Die Volksverschlüsselung ist eine Initiative, welche das Ziel verfolgt, kryptographische Schlüssel benutzerfreundlich an Nutzer zu verteilen, so dass Ende-Zu-Ende-Verschlüsselung und der damit einhergehende Selbstdatenschutz gefördert und selbstverständlich wird. Um die Volksverschlüsselung perspektivisch noch mehr Nutzern zur Verfügung stellen zu können, wird sie kontinuierlich weiterentwickelt. Hierzu gehören zum einen die Entwicklung neuer Authentifizierungsverfahren, wie z.B. die Identifikation per *Internet-Video-Chat*. Des Weiteren ist auch das Portfolio der Konfigurations-Plugins der Client-Software zu erweitern, so dass zukünftig z.B. auch die zur Ende-Zu-Ende-Verschlüsselung in Webmailern notwendigen Browser-Erweiterungen nativ unterstützt werden.

Auch durch die unterschiedlichen möglichen Einsatzszenarien der Volksverschlüsselung, z.B. innerhalb eines kommerziellen Kontextes, ergeben sich neue Anforderungen, wodurch z.B. die Entwicklung erweiterter Backup- oder Schlüsselverteilungsmechanismen notwendig wird.

Um die technische Akzeptanz der Volksverschlüsselung weiter zu steigern, sind zukünftig auch die verschiedenen Möglichkeiten der *Cross-Zertifizierung* oder ihr Anschluss an die

TeleTrusT European Bridge CA (EBCA)[14] zu diskutieren. Zusätzlich strebt die Volksverschlüsselung auch jenseits einer formalen *Cross-Zertifizierung* die Kooperation mit anderen Zertifizierungsstellen an.

Literaturverzeichnis

[AR97] Abdul-Rahman, Alfarez: The PGP Trust Model. EDI-Forum: The Journal of Electronic Commerce, 10(3):27–31, 1997.

[Fi07] Finney, Hal; Donnerhacke, Lutz; Callas, Jon; Thayer, Rodney L.; Shaw, David: , OpenPGP Message Format. RFC 4880, November 2007.

[ITR00] ITU-T RECOMMENDATION, X: 509 I ISO/IEC 9594-8. Information Technology–Open Systems Interconnection–The Directory: Public-key and attribute certificate frameworks, 2000.

[Ma08] Margraf, Marian: Kryptographische Verfahren: Empfehlungen und Schlüssellangen. Technische Richtlinie TR-02102, Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik, 2008.

[Ma11] Margraf, Marian: The New German ID Card. In: ISSE 2010 Securing Electronic Business Processes, S. 367–373. Springer, 2011.

[Mo14] Moriarty, Kathleen; Nystrom, Magnus; Parkinson, Sean; Rusch, Andreas; Scott, Michael: , PKCS #12: Personal Information Exchange Syntax v1.1. RFC 7292, Juli 2014.

[NK10] Noack, Torsten; Kubicek, Herbert: The Introduction of Online Authentication as Part of the New Electronic National Identity Card in Germany. Identity in the Information Society, 3(1):87–110, 2010.

[TR10] Turner, Sean; Ramsdell, Blake C.: , Secure/Multipurpose Internet Mail Extensions (S/MIME) Version 3.2 Message Specification. RFC 5751, Januar 2010.

[Ve] Verschlüsselung von E-Mails kommt nur langsam voran. https://www.bitkom.org/Presse/Presseinformation/Verschluesselung-von-E-Mails-kommt-nur-langsam-voran.html. Zugriff: 19.04.2017.

[14] http://www.ebca.de/ebca

ZuGPM 2017 – Workshop zum Stand, den Herausforderungen und Impulsen des Geschäftsprozessmanagements

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 789

Workshop zum Stand, den Herausforderungen und Impulsen des Geschäftsprozessmanagements (ZuGPM 2017)

Michael Fellmann [1], Agnes Koschnmider [2]; Ralf Laue [3] und Andreas Schoknecht[4]

Das Geschäftsprozessmanagement (GPM) ist mittlerweile eine etablierte Forschungsdisziplin. Um zukünftig die Relevanz der erreichten Forschungsergebnisse zu sichern und eine zielgerichtete Weiterentwicklung zu ermöglichen, müssen Methoden und Instrumente des GPM an die sich im ständigen Wandel befindlichen Ansprüche aus Wissenschaft, Wirtschaft und Verwaltung angepasst werden. Darüber hinaus bedürfen auch neue Sprachen zur Modellierung von Entscheidungsregeln oder zum Case Management und neue Werkzeuge und Technologien (z.B. Wearable Devices, Sensorik) und deren Integration mit traditionellen Ansätzen des Geschäftsprozessmanagements der weiteren Untersuchung. Der Workshop möchte somit dazu beitragen, wichtige Impulse und Anregungen für die zukünftige Forschung zu liefern.

Eingereicht werden konnten Beiträge, die entweder neue Erkenntnisse beinhalten oder auf bereits veröffentlichten Artikeln basieren. Akzeptiert wurden schließlich vier Langbeiträge und vier Kurzbeiträge. Das Programm des Workshops wird durch den eingeladenen Vortrag „Digitalisierung dokumentbezogener Geschäftsprozesse“ von Ingo Gringer (msg systems) abgerundet.

Wie in den Vorjahren auch, besteht das Programm auch 2017 wieder aus einem breiten Spektrum an Beiträgen. Einen Kernaspekt hierbei bildet der Einsatz innovativer Technologien im Geschäftsprozessmanagement. So analysieren Deubel, Moormann und Holotiuk den Einsatz der Blockchain in Geschäftsprozessen am Beispiel des Zahlungsverkehrs. Zudem wird der Einsatz von Wearable Devices verbunden mit der Runtime-Modellierung von Prozessen von Jannaber et al. demonstriert.

Neben solchen technologisch geprägten Innovationen wird auch die Anwendung etablierter Konzepte in neuen Bereichen vorgestellt. So befasst sich der Beitrag von Herzog und Lantow mit der Nutzung von Adaptive Case Management in sozialen Einrichtungen. Ergänzend zu innovativen Themen wird auch der Weiterentwicklung klassischer Themen des Geschäftsprozessmanagements Beachtung geschenkt. In dieser Hinsicht befasst sich Bauer mit Flexibilitätsaspekten im Kontext des Kontrollflusses von Geschäftsprozessen; Turban und Schmitz-Lenders erarbeiten einen Ansatz zur Ableitung von Anforderungen aus Prozessmodellen, und Özcan und Drescher schließlich widmen

[1] Universität Rostock, Institut für Informatik, michael.fellmann@uni-rostock.de
[2] Karlsruher Institut für Technologie; agnes.koschmider@kit.edu
[3] Westsächsische Hochschule Zwickau, Fachgruppe Informatik, ralf.laue@fh-zwickau.de
[4] Karlsruher Institut für Technologie, andreas.schoknecht@kit.edu

doi:10.18420/in2017_77

sich in ihrem Beitrag der Verbesserung von Abläufen in global verteilten Produktentwicklungsprojekten.

Angesichts dieser Fülle an Innovationen und Weiterentwicklungen sollen allerdings auch die für das Individuum bedeutsamen Aspekte der Privatsphäre, des Datenschutzes und der Arbeitsbedingungen nicht ausgeklammert werden. Der Workshop wird in dieser Hinsicht abgerundet durch den Beitrag von Buchmann und Anke zu Privacy-Mustern und den Beitrag von Fellmann et al. zu Anwendungsfällen für ein stresssensitives Prozessmanagement.

Dieser Workshop wird zum dritten Mal von Michael Fellmann (Universität Rostock), Agnes Koschmider (Karlsruher Institut für Technologie), Ralf Laue (Westsächsische Hochschule Zwickau) und Andreas Schoknecht (Karlsruher Institut für Technologie).

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 791

Digitalisierung dokumentbezogener Geschäftsprozesse

Ingo Gringer[1]

Abstract: Die Digitalisierung ist wesentlich getrieben von Kundenorientierung und der Vereinfachung der Kommunikation über die Kanäle und Formate des Nutzers. Digitale Kommunikationskanäle im Kontext der "Systems of Engagements" müssen effizient, in hoher Geschwindigkeit und für den Kunden nachvollziehbar benutzt werden. Für die Backoffice-Infrastrukturen der Unternehmen (System of Records) ist das jedoch eine gewaltige Aufgabe. Aus Sicht dokumentgetriebener Geschäftsprozesse zeigt der Vortrag auf, wie Informations- und Datenflüsse mit den Cross-Systemen des Input/Outputmanagements zusammenspielen und welche technischen Herausforderungen für die Multichannel-Kommunikation mit Kunden und Geschäftspartnern heute zu lösen sind.

Keywords: Digitalisierung, Output Management, Customer Communication Management

[1] msg systems AG, Geschäftsstelle Chemnitz, Ingo.Gringer@msg.group

doi:10.18420/in2017_78

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 793

Privacy Patterns in Business Processes

Erik Buchmann[1] and Jürgen Anke[2]

Abstract: Workflow design patterns provide abstract, „best-practices“ solutions to recurring problems. While the majority of workflow patterns focus on control flow, resources and data, our concern are patterns from a data privacy perspective. Privacy patterns have the potential to ease the life of process developers, auditors and privacy officers by providing pre-validated patterns that correspond with existing data privacy regulations. With this paper, we strive to establish workflow privacy patterns as a direction of research. For this purpose, we motivate privacy patterns, we discuss requirements and research directions, and we review options to integrate patterns into existing modeling languages and tools.

Keywords: GDPR; Privacy Modelling; Business Processes; Workflow Pattern

1 Introduction

Design patterns are reusable solutions to a commonly occuring problem. By instantiating a design pattern, an engineer can arrive at a „best-practices“-solution with little effort. In the area of workflow modeling, a large number of workflow design patterns have been proposed [tH10, RvdAtH16]. A prominent example is „Multiple Instances Without Synchronization“. This pattern creates a number of identical, independent sub-processes whose number is unknown at design-time. However, the majority of workflow patterns focus on the perspectives „Control Flow“, „Data“ and „Resources“. In contrast, our focus is on the *Data Privacy Perspective*, which allows to verify the compliance of processes with privacy laws, with binding corporate rules or with the privacy policy of an enterprise. This perspective also helps to realize data minimality and privacy-by-design, to implement fundamental activities that involve the privacy officer into sensible processes, etc. In this paper, we outline workflow privacy patterns (WPP) as a research area. To this end, we motivate the use of workflow patterns for the data privacy perspective and name requirements for WPPs that are useful in practice. Furthermore, we review options to instantiate WPPs in modeling languages and modeling tools, and we discuss directions for future research on WPPs.

The next section reviews related work. In Section 3, we introduce the various aspects of privacy patterns. Section 4 discusses research directions and concludes this paper.

[1] Hochschule für Telekommunikation Leipzig, Germany, buchmann@hft-leipzig.de
[2] Hochschule für Telekommunikation Leipzig, Germany, anke@hft-leipzig.de

doi:10.18420/in2017_79

2 Related Work

Some software design patterns for data privacy concepts [EU17] already exist, while workflow patterns have attracted less attention. Here, we review related work on the topic.

Workflow Patterns: Workflow models consider different perspectives[JB96], depending on the latter use of the model. Well-known perspectives are the „Control Flow“, „Data“, „Resources“, „Functional“ and „Operational“. Most workflow patterns [tH10, RvdAtH16] focus on the first three perspectives. For example, [RHM06] lists 43 different patterns ranging from general sequences to the explicit termination of processes. [RvdAtH06, Le10] presents exception handling patterns. [WRRM08] focuses on patterns for control-flow changes. Patterns on the data perspective [Ru04a] consider the visibility of data, data-driven interactions, the transfer of data and its transfer routes. Patterns such as „Role-based Allocation“ [Ru04b] address the life cycle of work items from the resources perspective.

Data Privacy Legislation: Data privacy laws regulate the collection, management, storage and transfer of personal data. To ease the transborder flow of data, international efforts such as the „OECD Privacy Framework“ [OE17], „Binding Corporate Rules“ [Ar09] or the „EU General Data Protection Regulation“ [EC16] harmonize national privacy regulations. Thus, WPPs exist that abstract from national privacy laws. Such WPPs might facilitate the adaption of privacy rules to enterprise processes and ease the verification of processes towards privacy. Such a concept for security in workflows has been described already [AMF15].

Privacy in Workflows: Since privacy legislation regulates the handling of (person-related) data by (human) resources, some patterns from the perspectives „Data“ and ‘"Resources“ are related to data privacy. One example is the pattern „Separation-of-Duties“ [Ru04b], which realizes the four-eye-principle. It can also ensure that a business entity cannot generate personality profiles. Another one is „Scope Data“ [Ru04a], which limits the visibility of data and can implement the principle of purpose. An orthogonal option to integrate privacy is extending modeling languages by annotations [MvSB11]. However, this approach cannot express generalized patterns independent from a particular modeling language. Finally, [Ar16] identifies patterns that link organisational privacy goals to process models. However, organisational goals result in patterns on a high level of abstraction, e.g., „Data Protection“ or „Unlinkability“, which are difficult to transform into concrete process models.

3 Privacy Patterns in Workflows

In this section, we discuss how WPPs materialize in processes and how to integrate them into the existing tool-chain. We start by providing an intuitive WPP example:

Privacy Pattern: ***Anonymous Access Path***

Description: *A given service process can be executed either anonymously or personalized. Thus, the customer needs to be informed about the alternatives and must decide upon providing personal data or not. Providing personal data is an implicit consent.*

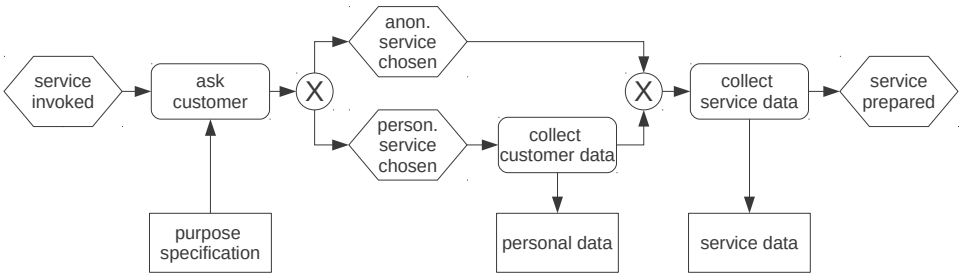


Abb. 1: Anonymous access path (Event-driven process chain)

Solution: *A preceding sub-process (see Figure 1) allows the customer to chose between anonymous or personalized service. In the latter case, an activity fetches personal data.*

Legal Requirements: *The activity „Ask Customer“ must inform the customers about the consequences of providing personal data. In particular, the customer must been told which data is collected, to which purpose the data is used, if data is transferred to 3rd parties etc.*

Privacy Processes: *Update Directory of Procedures; Notify Privacy Officer*

Related Patterns: *Personalized Access with Explicit Consent*

3.1 WPPs in Process Models

We have observed three distinct ways how data privacy must be considered in workflows:

Privacy Processes: First, implementing data privacy into the enterprise IT results in processes of its own: As a result of the current data privacy legislation [EC16], each enterprise that handles personal data must implement a number of workflows. For example, the individual concerned must be able to find out which personal information is stored by the enterprise, and it must be able to request a correction or deletion of personal data. If the individual has given consent to the processing of personal data, the consent must be stored and it must be possible for the individual to revoke its consent at any time.

Crosscutting Privacy Patterns: Second, data privacy is a crosscutting concern for all processes that handle personal data. For example, any process that handles personal data must validate a number of criteria that are required by legislation: Is the process sufficiently announced in the privacy policy of the enterprise? Is it mandatory to inform the individual concerned about processing activities at certain points in the workflow? Must the individual give consent to the processing of data? Does a previously given consent to a privacy policy allow to execute a certain workflow? Those privacy concerns result in building blocks that must be mounted in a similar way at multiple places into the process models.

Meta Privacy Processes: Third, concepts such as the separation-of-duty, separation-of-concerns, un-linkability of data, data minimality or privacy-by-design have a direct effect on the process design, even if no activity in the process directly relates to privacy. For example, separation-of-duty protects the privacy of an individual by enforcing that different tasks are executed by different roles so that no single person in the enterprise is able to obtain an in-depth profile of the individual concerned. The implementation of such concepts require meta processes whose building blocks are materialized in processes such as IT-demand management, requirements engineering, IT operations and IT development.

3.2 Putting WPPs into Practical Use

WPPs have to provide a clear benefit over the manual modeling privacy in processes. Thus, it must be as intuitive as possible to apply WPPs for a process designer, both from the perspective of the tools used and from the perspective of the modeling language. Furthermore, the abstract representation of privacy patterns must add value over recycling process fragments that have been modeled earlier. We have derived three main requirements for the concept of privacy patterns:

(R1) *WPPs should not require modifications of the chosen modeling language.* Existing modeling languages have been developed and taught over years, they have been implemented in modeling and simulation environments, and there is a wide body of literature on transformation rules, verification concepts etc. Thus, it should generally be avoided to extend a modeling language for privacy pattern support.

(R2) *WPPs should be useful for both the process modeling and implementation.* Privacy patterns are particularly beneficial if they integrate well into the existing toolchain, from development over simulation/validation to the process execution. Thus, privacy patterns must be specified on a level of abstraction that can be readily implemented.

(R3) *WPPs should be able to be maintained separately from the actual business processes.* Various privacy-related aspects have been changed recently, be it due to the cancellation of the Safe-Harbor treaty, be it due to the attempts to establish a data retention directive. Thus, it would be beneficial to update all processes at once if a privacy pattern has been updated.

As modelling languages provide different possibilities for extensions, refinements or modularity in general, this affects the practical handling of WPPs. Furthermore, not all languages features might be supported by all tools for that language. The same language could provide different capabilities in different versions. Hence, we need to consider the combination of modelling language, language version and used modelling tool to identify potential mechanisms for provisioning privacy patterns. In general, we see three strategies to integrate WPPs into existing modeling tools.

Integration into a process template library: Each sophisticated modeling tool comes with a user-extensible library for process fragments. Integrating WPPs into such a library does

not require changes on the tools or the language (R1). Tools usually copy patterns from the library into a model designer tool (R2). However, there is no option to update processes by modifying patterns (R3).

Extending stateful modeling languages: Languages such as extended Petri nets allow typed tokens that represent process states. It would be possible to define privacy types orthogonally to existing types and let privacy activities react on them. For example, the type of a token could carry the information that a customer has consented to a certain activity, parallel to the state of the activity (R1). However, this would inflate the number of types, making the model difficult to understand and to implement (R2). Finally, the privacy patterns would have to be compiled into specialized activites, which is in conflict with R3.

Using preprocessors or aspect-oriented approaches: A third approach is to use a preprocessor or to „weave“ privacy patterns into processes using concepts from aspect-oriented programming. For example, AO4BPEL [CM06] provides a BPEL-process weaver [SV08] which integrates crosscutting concerns into process models. This approach supports the requirements R2 and R3, but it is in conflict with R1.

Since none of these strategies fulfills all of our requirements, we see a clear demand for further research regarding the integration of WPPs into modeling languages and tools.

4 Conclusions and Outlook

We have motivated the benefits of privacy patterns, and we pointed out connections to existing concepts and to requirements for privacy patterns that are useful in practice. Workflow design patterns provide well-tested and well-researched concepts to solve recurring problems. While many patterns have been proposed, the research on workflow patterns for data privacy concepts is just at the beginning. Amongst a large number of open research questions, we deem the following ones to be most important:

Which WPPs are refinements of processes or cross-cutting concerns? This impacts the mechanisms that can be used to integrate the in both languages and tools. While refinements are a concept in process modelling, cross-cutting concerns are a concept of aspect-oriented programming and thus address the implementation level.
How can WPPs be modelled independently of concrete modelling language? Here, we aim to provide WPPs in a way that can be used in multiple modelling languages, e.g. BPMN and UML activity diagrams. A promising candidate might be Petri nets.
How can we provide support for multiple modelling languages and tools? For that, we need to investigate the possibilities for the formal integration in the languages as well as the technical integration in the tools.

While our work is in an early stage, we are conviced that any contribution for the integration of privacy support in business process are highly relevant for both research and practice.

Literaturverzeichnis

[AMF15] Argyropoulos, N.; Mouratidis, Haralambos; Fish, Andrew: Towards the Derivation of Secure Business Process Designs. In: Conference on Conceptual Modeling. 2015.

[Ar09] Article 29 Data Protection Working Party: , Working Document on Frequently Asked Questions related to Binding Corporate Rules. Working Document WP 155, 2009.

[Ar16] Argyropoulos, N. et al.: Incorporating Privacy Patterns into Semi-Automatic Business Process Derivation. In: Conf. on Research Challenges in Information Science. 2016.

[CM06] Charfi, Anis; Mezini, Mira: Aspect-Oriented Workflow Languages. In: OTM Confederated International Conferences. 2006.

[EC16] European Parliament; Council of the European Union: , Regulation on the Protection of Natural Persons with Regard to the Processing of Personal Data and on the Free Movement of Such Data. EU Regulation 2016/679, 2016.

[EU17] EU FP7 Project PRIPARE: , privacypatterns.eu - Collecting Patterns for Better Privacy. https://privacypatterns.eu, Accessed Apr., 2017.

[JB96] Jablonski, Stefan; Bussler, Christoph: Workflow Management: Modeling Concepts, Architecture, and Implementation. International Thomson, 1996.

[Le10] Lerner, B. S. et al.: Exception Handling Patterns for Process Modeling. Transactions on Software Engineering, 36(2), 2010.

[MvSB11] Mülle, Jutta; von Stackelberg, Silvia; Böhm, Klemens: Modelling and Transforming Security Constraints in Privacy-Aware Business Processes. In: Conference on Service-Oriented Computing and Applications. 2011.

[OE17] OECD: , The OECD Privacy Framework. http://www.oecd.org, Accessed Apr., 2017.

[RHM06] Russell, Nick; Hofstede, Arthur H. M. Ter; Mulyar, Nataliya: Workflow Control-Flow Patterns: A Revised View. Bericht, BPM Center Report BPM-06-22, 2006.

[Ru04a] Russell, Nick et al.: Workflow data patterns. Bericht, Queensland University of Technology, FIT-TR-2004-01, 2004.

[Ru04b] Russell, Nick et al.: Workflow resource patterns. Bericht, BETA Working Paper Series, WP 127, 2004.

[RvdAtH06] Russell, Nick; van der Aalst, Wil; ter Hofstede, Arthur: Workflow Exception Patterns. In: Conference on Advanced Information Systems Engineering. 2006.

[RvdAtH16] Russell, Nick; van der Aalst, Wil M.P.; ter Hofstede, Arthur H. M.: Workflow Patterns – The Definitive Guide. MIT Press, 2016.

[SV08] Sánchez, Mario; Villalobos, Jorge: A Flexible Architecture to Build Workflows Using Aspect-Oriented Concepts. In: AOSD workshop on Aspect-Oriented Modeling. 2008.

[tH10] ter Hofstede, Arthur H. M. et al.: Modern Business Process Automation: YAWL and its Support Environment. Springer-Verlag, 2010.

[WRRM08] Weber, Barbara; Reichert, Manfred; Rinderle-Ma, Stefanie: Change Patterns and Change Support Features. Data & knowledge engineering, 66(3):438–466, 2008.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 799

Anforderungen an vormodellierte Flexibilität für den Kontrollfluss von Geschäftsprozessen

Thomas Bauer[1]

Abstract: Bei Process-aware Information Systems (PAIS) ist manchmal ein flexibles Abweichen vom starr modellierten Prozess notwendig. Ansonsten werden die Benutzer zu stark eingeschränkt. Deshalb wurde im Projekt CoPMoF ein Ansatz entwickelt, bei dem zu erwartende, benötigte Flexibilität bereits zur Buildtime einmalig vormodelliert wird. Dies hat gegenüber dynamischen Änderungen zur Runtime den Vorteil, dass, durch Nutzung der vormodellierten Informationen, bei jeder Abweichung zur Runtime viel weniger Aufwand für die Benutzer entsteht. Außerdem wird die Anwendung der Flexibilität sicherer, z.B. weil hierfür Benutzerrechte definiert werden können. In diesem Beitrag werden die entsprechenden Anforderungen dargestellt, wobei insbesondere darauf eingegangen wird, welche Informationen zur Buildtime vormodelliert werden müssen. Außerdem wird die Notwendigkeit der Anforderungen an Praxisbeispielen erläutert.

Keywords: Process-aware Information System, Prozess-Engine, Buildtime, Flexibilität

1 Einleitung

Ein Vorteil von PAIS [RW12] gegenüber klassischen IT-Systemen ist, dass die Einhaltung des vorgegebenen Prozesses durch das Prozess-Management-System (PMS) sichergestellt wird (Prozesssicherheit). Außerdem werden die Anwender von nicht-produktiven Aufgaben entlastet, wie dem Suchen der richtigen Programmfunktion oder der im aktuellen Geschäftsvorfall benötigten Daten. Dies erfolgt bei einem PAIS automatisch. Allerdings haben PAIS auch Nachteile: So können sich Benutzer durch die aktive Steuerung gegängelt fühlen. Außerdem kann die Einschränkung der möglichen Ausführungsreihenfolgen der Prozessaktivitäten dazu führen, dass in Sonderfällen bestimmte Reihenfolgen nicht realisierbar sind, obwohl hierfür eine betriebliche Notwendigkeit besteht. Dadurch entsteht ein Nachteil für das Unternehmen.

Um solche Nachteile zu vermeiden, muss flexibel vom modellierten Geschäftsprozess abgewichen werden können [Re09, Sc07]. Eine spezielle Art von Flexibilität sind Abweichungen, die bereits zur Modellierungszeit (Buildtime) vormodelliert werden, damit sie zur Ausführungszeit (Runtime) der Prozessinstanzen angewandt werden können (Pre-Designed Flexibility [KN06], Flexibility by Design [Sc07]). In der wissenschaftlichen Literatur findet sich zu diesem Thema jedoch fast ausschließlich diese Kategorisierung. Eine Detaillierung der entsprechenden Anforderungen und von Ansätzen

[1] Hochschule Neu-Ulm, Fakultät Informationsmanagement, Wileystr. 1, 89231 Neu-Ulm,
thomas.bauer@hs-neu-ulm.de

doi:10.18420/in2017_80

zu deren Umsetzung waren bisher kaum Inhalt von Forschungsarbeiten.

Dieser Aspekt ist der Fokus des Projekts CoPMoF (Controlable Pre-Modeled Flexibility). Die Flexibilität in PMS soll vergrößert werden, aber Veränderungen sollen nicht willkürlich (d.h. voll dynamisch) durch die Benutzer festgelegt werden. Stattdessen wird vorhersehbare, möglicherweise zur Runtime benötigte Flexibilität bereits zur Buildtime vormodelliert. Solche Abweichungen können vom Geschäftsprozess-Modellierer (bzgl. ihrer Auswirkungen) gründlich durchdacht und ggf. vom Prozessverantwortlichen genehmigt werden. Dadurch ist die notwendige Prozesssicherheit weiterhin gewährleistet und Abweichungen sind nur im vorgesehenen Umfang und nur durch Benutzer mit entsprechenden Rechten möglich. Der entscheidende Vorteil ist jedoch, dass, für die Auslösung einer Abweichung, für die Benutzer ein sehr viel geringerer Aufwand entsteht, als für eine dynamische Änderung (evtl. wären sie mit deren Definition sogar überfordert). Angenommen, eine telefonische Rückfrage beim Kunden schlägt fehl. Jetzt könnte eine Aktivität „Nachfrage per Post“ dynamisch in den Geschäftsprozess eingefügt werden. Dazu müssten jedoch alle nachfolgend beschriebenen Festlegungen vom Benutzer des PAIS getroffen werden, die besser zur Buildtime vormodelliert werden sollten. Dann wurde nämlich bereits festgelegt, an welcher Stelle im Kontrollfluss diese zusätzliche Aktivität platziert werden soll (d.h. die Vorgänger- und Nachfolgeraktivitäten festgelegt). Auch der Datenfluss wurde bereits definiert, d.h. die Anbindung von Aktivitäten-Input- und -Output-Parametern an Prozessvariablen. So bezieht z.B. der Input-Parameter Adresse im Feld Straße seinen Inhalt von der Prozessvariablen CustomerAddress und dort vom Attribut CustomerStreet. Ebenso wurde bereits eine geeignete Bearbeiterzuordnung vorgegeben, z.B. „Rolle = Kreditbearbeiter und Abteilung = x“, wobei sich x aus der Prozessvariablen CreditApplication und dort dem Attribut ExecutingUnit ergibt.

Dynamische Änderungen [RD98, RW12] ermöglichen z.B. das Einfügen von (in der Prozessvorlage nicht vorgesehenen) Aktivitäten für eine einzelne Prozessinstanz. Ebenso wird das Löschen oder Verschieben von Aktivitäten ermöglicht. Zur Umsetzung von nicht vorhersehbaren Änderungen stellen diese eine unverzichtbare Funktionalität dar. Für vorhersehbare Ausnahmesituationen und Sonderfälle ist dieser Mechanismus jedoch weniger geeignet, weil (wie bereits erläutert) bei jeder Abweichung ein Mehraufwand für die Benutzer entsteht. Hier ist es deutlich sinnvoller, den Aufwand ein einziges Mal bereits zur Buildtime zu betreiben, und die evtl. benötigte Flexibilität vorzumodellieren.

Bzgl. der Vormodellierung von Flexibilität wird in der wissenschaftlichen Literatur (wie erwähnt) bisher lediglich die entsprechende Kategorie von Flexibilität definiert, diese Kategorie wird jedoch nicht näher untersucht. Damit verbleibt folgende bisher unbeantwortete Forschungsfrage: Welche Szenarien (d.h. Anforderungen) existieren, bei denen es vorteilhaft ist, zur Buildtime ein flexibles Verhalten vorzumodellieren, und welche Informationen müssen hierbei jeweils vorgegeben werden?

In diesem Beitrag werden zahlreiche unterschiedliche Szenarien für vormodellierte Flexibilität detailliert dargestellt. Dabei wird auf diverse Einzelaspekte und -anforderungen eingegangen, um die Szenarien umfassend und verständlich darzustellen. Es wird

ausschließlich der Kontrollfluss betrachtet (für weitere Prozessaspekte siehe [Ba17]). Außerdem wird die Notwendigkeit der Anforderungen an Praxisbeispielen erläutert.

Im nachfolgenden Abschnitt werden einige Begriffe eingeführt und die prinzipielle Funktionsweise von PAIS erläutert. Außerdem wird die Problemstellung an einem Anwendungsbeispiel motiviert, das später wieder aufgegriffen wird. In Abschnitt 3 werden die einzelnen Anforderungen erläutert und Praxisbeispiele hierzu dargestellt. Abschnitt 4 stellt verwandte Arbeiten vor.

2 Grundlagen und resultierende Problemstellungen

Im Folgenden wird beschrieben, welche Art vormodellierter Flexibilität heute üblicherweise bereits in den meisten Ansätzen und kommerziellen Systemen zur Prozesssteuerung vorgesehen ist. Anschließend werden einige Problemstellungen mittels eines etwas umfassenderen Szenarios dargestellt.

2.1 Modellierung und Ausführung von Geschäftsprozessen

PAIS bestehen aus einer Buildtime- und einer Runtime-Komponente. Zur Modellierungszeit (Buildtime) wird eine Prozessvorlage erstellt, die den später auszuführenden Geschäftsprozess beschreibt. Hierzu wird ein Prozessgraph modelliert, der aus Aktivitäten besteht, deren Ausführungsreihenfolge mittels Kanten und Bedingung festgelegt wird. Dieser Prozessgraph wird zur Ausführungszeit (Runtime) verwendet, um Prozessinstanzen zu erzeugen. Eine Prozess-Engine führt diese aus, indem für jede aktuell anstehende Aktivitäteninstanz (meist nur Aktivität genannt) entsprechende Einträge in den Arbeitslisten der potentiellen Bearbeiter erzeugt werden. Einer dieser Bearbeiter wählt einen solchen Eintrag aus, so dass er die Aktivität bearbeiten kann. Häufig besteht die Bearbeitung darin, ein Formular auszufüllen.

Der Kontrollfluss ist der am deutlichsten sichtbare Prozessaspekt. Er definiert die Ablaufreihenfolge mittels des Prozessgraphen (vgl. Abb. 1). Dessen Knoten stellen die Aktivitäten dar, die von Benutzern ausgeführt werden, automatisch durchgeführte Prozessschritte oder ganze Subprozesse repräsentieren. Außerdem enthält der Prozessgraph Gateways (Rauten), die Verzweigungen (Split) und Zusammenführung (Join) darstellen. In der Literatur findet sich eine Vielzahl an Pattern zur Modellierung des Kontrollflusses [RH06]. In kommerziellen PMS sind für Verzweigungen üblicherweise Split- und Join-Knoten mit XOR- (ein Zweig wird aufgrund einer Bedingung gewählt), OR- (mehrere Zweige) und AND-Semantik (alle Zweige) verfügbar. Außerdem werden Schleifen unterstützt. Sowohl Verzweigung wie auch Schleifen stellen eine einfache Form von vormodellierter Flexibilität dar, weil sie dazu führen, dass die Menge der ausgeführten Aktivitäten und deren Ausführungsreihenfolge bei jeder Prozessinstanz unterschiedlich sein können. Einige PMS ermöglichen zusätzlich die Instanziierung einer dynamisch festzulegenden Anzahl von identischen parallelen Zweigen, wobei deren Anzahl zum

Startzeitpunkt dieser „Multi-Instanz-Parallelität“ feststehen muss. Dies entspricht dem Kontrollfluss-Pattern „Multiple Instances with a priori Run-Time Knowledge” [RH06].

2.2 Herausforderungen bzgl. vormodellierbarer Flexibilität

Im Folgenden wird an einem Praxisbeispiel der Bedarf an Flexibilität aufgezeigt. Im Fokus hierbei liegen, wie bereits in Abschnitt 1 erläutert, nicht dynamische Änderungen mit denen auf völlig unerwartete Ereignisse reagiert wird. Stattdessen werden Situationen betrachtet, die zwar Ausnahmefälle darstellen, aber vorhersehbar sind. Deshalb kann bereits zur Buildtime ein geeignetes Verhalten vormodelliert werden.

Abb. 1 zeigt einen vereinfachten Change-Management-Prozess (CMP), wie er zur Beantragung von Produktänderungen in der Automobilindustrie dient. Die Notation ist an BPMN 2.0 angelehnt. Mit der Akt. A kann ein beliebiger Mitarbeiter des Automobilherstellers eine Änderung eines Bauteils (z.B. Form der Motorhaube) beantragen. Da die Ausführung einer CMP-Instanz einen erheblichen Aufwand verursacht, kann diese in Akt. B bzw. B' von einer Führungskraft gestoppt werden. Akt. C ermittelt automatisch den Verantwortlichen für das zu verändernde Bauteil durch eine Abfrage an das Produktdaten-Management-System (PDM-System). Dieser bewertet in Akt. D Aufwand und Nutzen der Änderung aus Sicht des Entwicklungsbereichs. In Akt. E identifiziert er betroffene Nachbarteile (z.B. Kotflügel, Kühler), die durch eine Formänderung der Motorhaube ebenfalls angepasst werden müssen. Akt. F erfragt die zugehörigen Bauteil-Details und -Verantwortlichen und speichert die Daten in der Liste Nachbarteile.

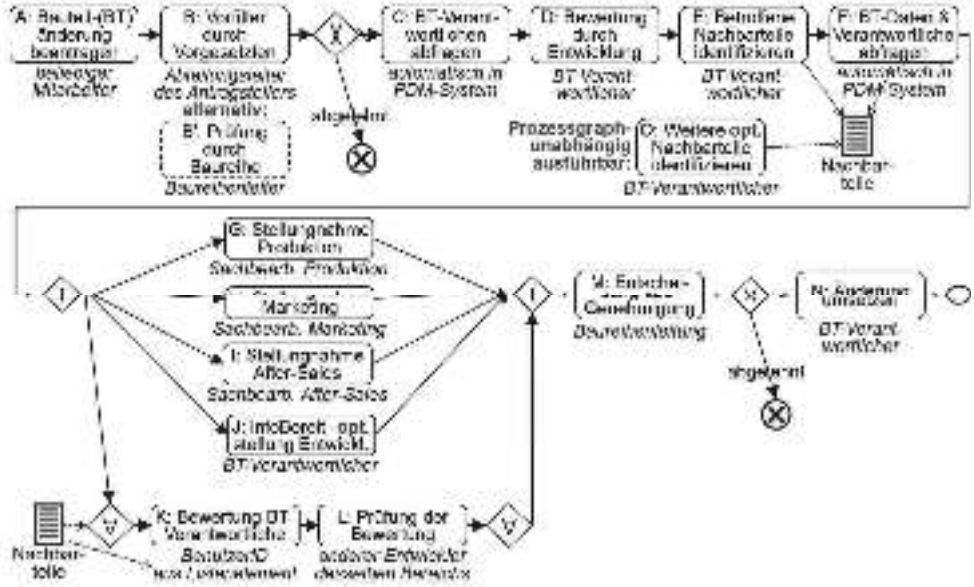


Abb. 1: Change-Management-Prozess (CMP) für Produktänderungen

In den Akt. G bis I bewerten diverse Bereiche zeitgleich (parallel), ob die Änderung aus ihrer Sicht realisierbar ist, und welche Kosten entstehen. Die Akt. J erlaubt es dem Bauteilverantwortlichen, hierzu zusätzliche Informationen zur Verfügung zu stellen (die z.B. telefonisch angefragt wurden). Die Bewertung der Änderung aus Sicht der Nachbarteile erfolgt in Akt. K durch den jeweiligen Bauteilverantwortlichen. Diese Aktivität wird mehrfach instanziiert (einmal je Nachbarteil). Dasselbe gilt für Akt. L, in der ein anderer Entwickler die Bewertung überprüft. In Akt. M wird über die Genehmigung des Änderungsantrags entschieden, und ggf. werden die Bauteile in Akt. N geändert.

Die Ausführung des CMP erfordert an einigen Stellen Flexibilität: So wurde die Akt. B' als Alternative zur Akt. B modelliert. B' wird verwendet, falls die Akt. B aktuell nicht ausführbar ist, z.B. weil der disziplinarische Vorgesetzte fachlich für diese Entscheidung nicht ausreichend kompetent ist. Die Akt. J wurde zur Buildtime als optional (opt.) eingestuft. Das bedeutet, dass sie entsprechend gekennzeichnet in der Arbeitsliste des Bauteilverantwortlichen erscheint. Dieser kann nun entscheiden, ob Bedarf an einer zusätzlichen Informationsbereitstellung besteht, oder ob er die Aktivität nicht ausführen möchte. Die Akt. K und L sind in eine Multi-Instanz-Parallelität eingebettet, d.h. die Anzahl Zweige ergibt sich beim ∀-Split aus der Länge der Liste Nachbarteile. Diese Liste wurde von den Akt. E und F befüllt. Sie kann aber auch noch nachträglich durch die Akt. O erweitert werden. Die Akt. O ist unabhängig von Prozessgraphen. Deshalb ist sie jederzeit ausführbar, macht aber nur bis zum Ende der Multi-Instanz-Parallelität Sinn (d.h. vor dem ∀-Join). Danach können zusätzliche Nachbarteile nicht mehr durch zusätzliche Instanzen der Akt. K und L berücksichtigt werden.

3 Konstrukte zur vormodellierten Flexibilität

Nachfolgend wird dargestellt, was genau zur Buildtime vormodelliert werden muss, um zur Runtime eine große Flexibilität zu ermöglichen, ohne dadurch viel Aufwand für den Benutzer zu verursachen. Hierbei wird ausschließlich der Aspekt Kontrollfluss (KF) betrachtet und die Notwendigkeit einiger Anforderungen wird mit Anwendungsbeispielen belegt. Bzgl. weiterer Prozessaspekte und für Anwendungsbeispiele für alle Anforderungen muss aus Platzgründen auf [Ba17] verwiesen werden.

KF-1: Optionale Aktivitäten

Bei optionalen Aktivitäten entscheidet der Benutzer, ob eine Aktivität überhaupt ausgeführt werden soll, oder ob sie bei dieser Prozessinstanz irrelevant ist. Hierzu wird die Aktivität in den Arbeitslisten angezeigt, so dass ein Benutzer sie starten kann. Der Arbeitslisteneintrag enthält jedoch zusätzlich eine Kennzeichnung, dass die Aktivität optional ist, und die Möglichkeit sie auszulassen (z.B. mittels eines entsprechenden Buttons bei diesem Eintrag). Bei einer optionalen Aktivität kann es sich auch um eine zusammengesetzte Aktivität handeln, so dass z.B. ein gesamter Subprozess übersprungen wird.

Zur Buildtime muss angegeben werden können (z.B. durch Setzen einer Markierung), dass

eine Aktivität optional sein soll (vgl. Akt. J in Abb. 1). Eine optionale Aktivität kann unter bestimmten Umständen auch hinfällig werden, ohne dass der Benutzer sich aktiv für ein „Auslassen“ entscheidet (s.u. KF-1b und c). Auch dies muss zur Buildtime konfigurierbar sein.

KF-1a: Der Normalfall bei optionalen Aktivitäten ist, dass diese ausgeführt werden. Um sie auszulassen, muss der Benutzer explizit aktiv werden. So wird beim CMP aus Abb. 1 die Akt. J dem Bauteilverantwortlichen so lange angeboten, bis er sie bearbeitet oder sich für das Auslassen entscheidet. Dies ist sinnvoll, weil die erzeugte Information sowohl von den parallel ausgeführten Akt. G bis I, wie auch von der Nachfolgeakt. M genutzt werden kann.

KF-1b: Mit der optionalen Akt. C in Abb. 2 kann die ursprünglich in Akt. A erstellte Bauteilbeschreibung detailliert werden, falls sie sich durch die Ausführung von Akt. B signifikant verändert hat. Diese Bauteilbeschreibung wird von der Akt. E in das Stücklistensystem übertragen. Allerdings wartet Akt. E nicht auf die Ausführung oder das Auslassen von Akt. C, weil die Stücklistendaten von anderen Prozessen dringend benötigt werden und Verzögerungen nicht akzeptabel wären. Ist jedoch der untere Zweig beendet (d.h. der AND-Join erreicht), so macht die Ausführung von Akt. C keinen Sinn mehr. Deshalb wird sie von der Prozess-Engine dann automatisch ausgelassen (sofern dies zur Buildtime so festgelegt wurde).

KF-1c: Das Beispiel aus Abb. 2 kann auch so abgewandelt werden, dass ein anderes Verhalten erforderlich wird: Befinden sich an der mit * markierten Stelle (d.h. nach Akt. E) weitere Aktivitäten, so ist Akt. C nicht erst dann hinfällig, wenn der untere Zweig den AND-Join erreicht. Stattdessen muss modelliert werden, dass Akt. C automatisch ausgelassen wird, sobald die Akt. E ausführt wurde. Akt. E stellt somit eine Art Milestone dar.

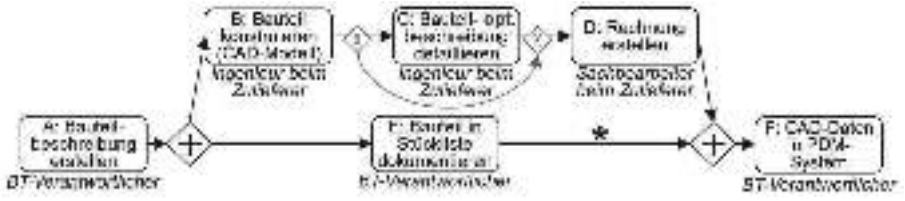


Abb. 2: Konstruktion eines Bauteils durch einen Zulieferer

Optionale Aktivitäten lassen sich nicht einfach mittels eines normalen XOR realisieren (grau in Abb. 2 angedeutet). Abgesehen davon, dass sich KF-1b und c so nicht umsetzen lassen, ergibt sich auch eine andere (bzw. keine) Benutzerinteraktion: Bereits am XOR-Split wird die Verzweigungsentscheidung anhand einer Regel und mittels Werten von Prozessvariablen getroffen. Im Falle einer Auslassung würde die Akt. C also erst gar nicht in die Arbeitslisten der potentiellen Bearbeiter eingestellt werden. Im anderen Fall wäre sie nicht mehr auslassbar. Dies entspricht nicht dem bei optionalen Aktivitäten gewünschten Verhalten, so dass es sich hierbei tatsächlich um ein eigenständiges Kontrollfluss-Konstrukt handelt. Aus ähnlichen Gründen (und weil dies zu einem sehr unübersichtlichen Prozessgraph führen würde) lassen sich auch die im Folgenden dargestellten

Anforderungen nicht mit (normalen) XOR-Gateways realisieren (z.B. KF-2 und KF-3).

KF-2: Alternative Aktivitäten

Die Notwendigkeit für alternative Aktivitäten soll an einem medizinischen Beispiel motiviert werden: Ein Patient erhält normalerweise einen Wirkstoff X in Form von Tabletten (Akt. A). In Sonderfällen erkennt der Arzt, dass der Wirkstoff X bzw. die orale Einnahme ungeeignet ist. Deshalb entscheidet er sich für die alternative Akt. B und verabreicht den Wirkstoff Y per Spritze.

Das PMS verhält sich bei alternativen Aktivitäten folgendermaßen: Die Standardaktivität A wird den Benutzern in ihren Arbeitslisten angezeigt. Zusätzlich dargestellt wird ein Hinweis, dass es (eine) alternative Aktivität(en) gibt. Der Benutzer kann sich durch eine aktive Aktion in der Arbeitsliste für eine alternative Aktivität entscheiden (außer bei KF-2d). Zur Buildtime wird festgelegt, welche der folgenden Varianten verwendet werden soll, d.h. wann und wie die Entscheidung für eine alternative Aktivität getroffen wird.

KF-2a: Der Benutzer entscheidet dies vor Reservierung (d.h. dem Start) der Aktivität. Dies ist der Normalfall (und auch der einfachste Fall).

KF-2b: Der Benutzer kann sich auch noch während der laufenden Bearbeitung von Akt. A für Akt. B entscheiden. Dann wird die reguläre Akt. A automatisch abgebrochen und Akt. B gestartet.

KF-2c: Der Benutzer erkennt viel später im Prozess, dass die alternative Aktivität geeigneter gewesen wäre. Die alternative Aktivität wird dann später und zusätzlich ausgeführt. Dies macht z.B. bei Aktivitäten zur Datenerfassung Sinn, wenn durch die alternative Aktivität mehr bzw. andere Daten erfasst werden, die sich im Kontext des aktuellen Geschäftsvorfalles (verspätet) als erforderlich herausgestellt haben. Die zuvor erzeugten Prozessdaten werden also nachträglich verändert.

KF-2d: Die alternative Aktivität wird von der Prozess-Engine automatisch ausgewählt, falls die eigentlich vorgesehene Aktivität fehlschlägt. Hierbei kann es sich um einen fehlgeschlagenen Service-Aufruf bei automatischen Aktivitäten handeln. Aber auch bei manuell bearbeiteten Aktivitäten kann die Prüfung der Nachbedingungen ergeben, dass sie nicht korrekt ausgeführt wurden (z.B. fehlende oder inkonsistente Ergebnisdaten).

Zur Buildtime muss auch festgelegt werden, wer das Recht hat, sich für die Alternative zu entscheiden. Meist wird ein (potentieller) Bearbeiter dieser Aktivität die Entscheidung treffen dürfen. Es soll aber auch möglich sein, diesen Personenkreis einzuschränken, z.B. auf (besonders kompetente) Personen, die eine zusätzliche Rolle innehaben.

Falls die alternative Aktivität zusammengesetzt ist, entscheidet man sich für die Ausführung eines anderen Subprozesses, anstatt einer elementaren Aktivität. Dann ist nicht nur der nächste Aktivitätenbearbeiter von dieser Entscheidung betroffen, sondern auch alle anderen Bearbeiter des Subprozesses. Deshalb muss die Entscheidung evtl. durch einen speziellen Verantwortlichen (z.B. Projektleiter) getroffen werden, der selbst nicht

zwangsweise ein Bearbeiter von Aktivitäten des Subprozesses ist.

Selbstverständlich können für eine Aktivität auch mehrere alternative Aktivitäten vormodelliert werden, aus denen der Benutzer dann eine geeignete auswählen kann.

KF-3: Sprünge innerhalb des Prozessgraphen

KF-3a: Sprünge vorwärts Angenommen, bei einem Reiseantragsprozess erfolge die Genehmigung nach diversen Stellungnahmen und Kostenschätzungen, die lange dauern können. Bei Reiseanträgen für kurzfristige Termine kann es vorkommen, dass ausnahmsweise, ausgehend von diesen Aktivitäten, direkt zur Genehmigung gesprungen werden muss, weil sonst ein extrem wichtiger Termin verpasst wird und wirtschaftlicher Schaden entsteht.

Im einfachsten Fall findet ein Sprung statt, bevor die Quellaktivität (d.h. Startpunkt des Sprungs) gestartet wurde. Falls die Quellaktivität bereits gestartet wurde, muss sie vor dem Sprung abgebrochen werden. Bei der Modellierung muss festgelegt werden, ob ausgehend von dieser Quellaktivität ein Sprung erlaubt ist, ob sie hierfür (automatisch) abgebrochen werden darf und welches mögliche Zielaktivitäten des Sprungs sind. Außerdem muss festgelegt werden, wer einen solchen Sprung auslösen darf, z.B. der aktuelle Bearbeiter der Aktivität oder ein fachlicher Prozessverantwortlicher.

Für die übersprungenen Aktivitäten ist festzulegen, ob sie nachgeholt werden sollen. Der Normalfall ist, sie endgültig auszulassen. Es kann jedoch auch erforderlich sein, dass eine übersprungene Aktivität nachgeholt wird. Dies ist zur Buildtime festzulegen, inkl. einer Angabe, ob das Nachholen zu einem beliebigen späteren Zeitpunkt erfolgen darf, oder ob es spätestens vor dem Start einer bestimmten anderen Aktivität erfolgen muss.

Eine Modellierung der Sprünge mittels Kanten und (normalen) XOR-Splits ist kaum sinnvoll. Wie bereits bei KF-1 diskutiert, werden die Bedingungen des Split-Knotens zu früh ausgewertet. Hinzu kommt, dass zahlreiche XOR-Splits und entsprechende Kanten eingefügt werden müssen (z.B. im Reiseprozess ausgehend von allen Bewertungen), wodurch der Prozessgraph sehr unübersichtlich wird. Deshalb solle ein Modellierungswerkzeug die Sprungkanten ausblenden und vom regulären Kontrollfluss unterscheidbar visualisieren können. Außerdem sollte die Festlegung mehrerer Quell-/Zielaktivitäten als gemeinsame Region möglich sein.

KF-3b: Sprünge rückwärts Angenommen, beim CMP aus Abb. 1 wird während der Ausführung von Akt. E bis L entdeckt, dass bei Akt. D fehlerhafte Daten eingegeben wurden. Deshalb soll keine Genehmigung (Akt. M) erfolgen, sondern zur Akt. D zurückgesprungen und diese wiederholt werden. Danach wird der Prozess (mit korrekten Daten) ab Aktivität E erneut durchlaufen. Hier sind mehrere Quellknoten (Akt. E bis L) für den Sprung vorgesehen. Ebenso wie bei Vorwärtssprüngen (KF-3a) sollen diese nicht einzeln mit Kanten und XOR-Splits modelliert werden, sondern mittels Prozessregionen. Außerdem muss festgelegt werden, wer das Recht hat, einen solchen Sprung auszulösen.

Da nach einem Rücksprung der Prozessgraph wieder vorwärts durchlaufen wird, muss für

jede Aktivität festgelegt werden, was dann mit ihren ursprünglichen Ergebnissen (Output-Daten) passieren soll. Hier sind 3 Varianten denkbar und es hängt von der „inhaltlichen Bedeutung“ der Aktivität ab, welche geeignet ist.

1. Verwerfen: Die ursprünglichen Ergebnisse werden verworfen und die Aktivität wird „ganz normal“ erneut ausgeführt
2. Kontrollieren: Die Aktivität wird zwar nochmals ausgeführt, die ursprünglichen Output-Daten bleiben aber erhalten. Dem Benutzer wird ein vorausgefülltes Formular angezeigt und er kann diese Daten nun kontrollieren und ggf. korrigieren.
3. Beibehalten: Die Aktivität wird nicht erneut ausgeführt und ihre Output-Daten bleiben unverändert erhalten.

Es wird nun am Beispiel des CMP erläutert, warum alle 3 Varianten erforderlich sind: Zum Zeitpunkt des oben erwähnten Rücksprungs von Akt. L zu D seien die Akt. G bis I bereits beendet. Für die Akt. H wurde „Beibehalten“ (3.) festgelegt. Diese Aktivität muss nach dem Rücksprung nicht nochmals ausgeführt werden, weil durch Akt. D geänderte Entwicklungsdetails für das Marketing irrelevant sind. Für Akt. G wird „Kontrollieren“ (2.) festgelegt. Die Ergebnisse dieser Aktivität werden sich selten verändern, müssen jedoch geprüft und ggf. angepasst werden. Eine solche Veränderung ergibt sich aus Sicht der Fahrzeugproduktion, falls durch die Bauteiländerung die Montage schwieriger geworden ist. Für Akt. I wird „Verwerfen“ (1.) verwendet, d.h. die Aktivität muss vollständig neu ausgeführt werden. Ihre ursprünglichen Output-Daten sind irrelevant, weil ein geändertes Bauteil im Reparaturfall andere Beschaffungs- und Einbaukosten verursacht. Die Varianten 1 und 2 (sofern anwendbar) haben den Vorteil, dass beim erneuten Durchlaufen der Aktivitäten Zeit und Arbeitsaufwand eingespart werden.

In manchen Fällen ist es bei einem Rücksprung erforderlich, dass die ursprünglich ausgeführten Aktivitäten rückgängig gemacht werden. Wird z.B. bei einem Bestellprozess über die Auftragsvergabe an einen Zulieferer zurückgesprungen, so muss diese widerrufen werden oder der Lieferant muss informiert werden, dass er diesen Auftrag ruhen lassen soll. Hierfür muss eine Kompensationsaktivität modelliert werden, die genau diese Aufgabe übernimmt. Hierbei handelt es sich im Prinzip um eine normale Aktivität, die aber speziell für Rücksprungaktionen modelliert wird (also nicht zum regulären Kontrollfluss gehört).

KF-3c: Sprünge bei Parallelitäten Bei Sprüngen in einen parallelen Bereich hinein oder aus einem heraus ergeben sich einige zusätzliche Fragestellungen. Die möglichen Quell- und Zielregionen werden zur Buildtime festlegt (ebenso wie die bereits beschriebenen Berechtigungen etc.). Aufgrund der Parallelität wird hierfür jeweils eine Menge von Aktivitäten (eine Region) angegeben. Möchte ein Benutzer nun einen Sprung auslösen, so muss er eine Aktivität je parallelem Zweig als Sprungziel festlegen.

Vorwärtssprung: Um den Aufwand für den Benutzer zu reduzieren, kann für jeden Zweig ein Default-Zielknoten festgelegt werden, z.B. die erste Aktivität nach dem AND-Split. Dann kann der Benutzer einen Sprung auslösen, bei dem er nur für einige der Zweige eine Zielaktivität angibt. Bezüglich dem Nachholen der übersprungenen Aktivitäten gibt

es wieder die in KF-3a beschriebenen Varianten.

Rückwärtssprung: Zur Buildtime ist für jeden Zweig festzulegen, wie sich dessen übersprungene Aktivitäten verhalten sollen. Hierfür gibt es folgende Möglichkeiten:

- Eine aktuell laufende Aktivität des Zweiges wird abgebrochen. So soll z.B. eine laufende Aktivität abgebrochen werden, deren Ergebnisse bei der erneuten Ausführung ohnehin verworfen werden (s. KF-3b: Verwerfen). Diese Aktivität fertig zu bearbeiten oder sogar neu zu starten wäre verschwendeter Aufwand.
- Eine aktuell laufende Aktivität in dem Zweig kann zu Ende ausgeführt werden. Es werden aber keine Nachfolgeraktivitäten gestartet. So kann z.B. bei KF-3b (Kontrollieren) eine bereits gestartete Aktivität beendet werden, damit der bisher investierte Arbeitsaufwand nicht verloren geht. Eine Ausführung von Nachfolgeraktivitäten ist jedoch unerwünscht, weil bei KF-3b deren Ergebnisse evtl. verworfen werden.
- Der parallele Zweig kann bis zum AND-Join weiter bearbeitet werden. Dies kann sinnvoll sein, wenn die Ergebnisdaten ohnehin verwendbar sind (s. KF-3b: Beibehalten und evtl. Kontrollieren). Dann steht für die Bearbeitung der Aktivitäten dieses Zweiges viel Zeit zur Verfügung, bis die Ausführung nach dem Rücksprung wieder beim AND-Join ankommt. Dadurch sinkt die Gefahr, dass beim erneuten Durchlaufen Verzögerungen entstehen, weil auf die Beendigung dieser Aktivitäten gewartet werden muss.

Für die Zielknoten des Sprungs können zur Buildtime wieder Defaults angegeben werden. Dies kann jede Aktivität eines Zweiges sein. Häufig wird dies die erste Aktivität eines Zweiges sein, so dass der gesamte Zweig wiederholt wird. Es muss aber auch festgelegt werden können, dass ein Zweig gar nicht erneut ausgeführt werden soll. Für die wiederholt auszuführenden Aktivitäten gibt es wieder die KF-3b dargestellten Varianten.

KF-4: Multi-Instanz-Parallelität

Ein Beispiel hierfür wurde bereits in Abschnitt 2.2 vorgestellt. So soll im CMP aus Abb. 1 ein Bauteil verändert werden. Da sich dadurch evtl. seine Form, Material oder Härte ändert, kann dies benachbarte Bauteile beeinträchtigen. Eine Liste (und damit die Anzahl) dieser Nachbarteile wird in Akt. E festgelegt. Entsprechend oft müssen die Akt. K und L ausgeführt werden, jeweils mit unterschiedlichen Input-Daten und Bearbeitern.

KF-4a: Im (bisher erläuterten) einfachsten Fall ist zur Runtime beim Beginn der Multi-Instanz-Parallelität (d.h. beim ∀-Split) bekannt, wie viele parallele Zweige erzeugt werden müssen (Instanzen der Akt. K und L). Dies entspricht dem Kontrollfluss-Pattern „Multiple Instances with a priori Run-Time Knowledge“ [RH06].

KF-4b: Durch Ausführung der Akt. O können nachträglich weitere Nachbarteile hinzukommen, so dass zusätzliche parallele Zweige erzeugt werden müssen. Für diese werden also später Instanzen der Akt. K erzeugt. Dies entspricht der Variante „without a priori

Run-Time Knowledge“ [RH06]. Weitere parallele Zweige können hierbei so lange entstehen, bis alle existierenden Zweige der Multi-Instanz-Parallelität abgeschlossen sind.

KF-4c: Als Erweiterung hiervon kann es auch sinnvoll sein, zur Buildtime ein anderes Kriterium dafür festzulegen, wie lange weitere Zweige erzeugt werden dürfen. Eine mögliche Regel hierfür ist, dass nur solange neue Zweige hinzukommen dürfen, bis ein Milestone in einem der Multi-Instanz-Zweige erreicht ist. So sind z.B. keine neuen Zweige mehr möglich, wenn die erste Bewertung durch einen Bauteilverantwortlichen (Akt. K) abgeschlossen ist. Diese wurde zwar noch nicht von einem Kollegen geprüft (Akt. L), so dass der Zweig nicht vollständig beendet ist. Jedoch hat sich der Bearbeiter von Akt. K auf die ursprüngliche Bauteilliste verlassen, so dass diese nicht mehr nachträglich verändert werden darf. Ein anderer Typ von Regel verwendet Milestones in einem parallelen Zweig. Wenn z.B. in Akt. G die Produktion basierend auf der aktuellen Teileliste ihre Stellungnahme abgegeben hat, dann darf diese Liste nicht mehr verändert werden, so dass auch keine parallelen Zweige mehr erzeugt werden können.

KF-5: Start-Ende-Abhängigkeiten zwischen Aktivitäten

Die in [RH06] vorgestellten Kontrollfluss-Pattern berücksichtigen ausschließlich die Reihenfolge vollständig ausgeführter Aktivitäten, z.B. Akt. A muss beendet sein bevor B gestartet werden kann. Dies lässt sich erweitern, indem der Start und das Ende von Aktivitäten getrennt betrachtet werden. Dadurch werden zusätzliche (explizit erlaubte) Ausführungsreihenfolgen möglich und damit wird die Flexibilität erhöht. Hierfür gibt es 4 Möglichkeiten, wobei die erste einer normalen Sequenz entspricht:

KF-5a: EndBeforeStart Ende von Akt. A muss vor Start von Akt. B erfolgen

KF-5b: StartBeforeStart Start von Akt. A muss vor Start von Akt. B erfolgen

KF-5c: EndBeforeEnd Ende von Akt. A muss vor Ende von Akt. B erfolgen

KF-5d: StartBeforeEnd Start von Akt. A muss vor Ende von Akt. B erfolgen

Beispielsweise ist der Typ EndBeforeEnd (KF-5c) in folgendem Szenario sinnvoll: Die Akt. A (Fahrzeug reinigen) muss beendet werden, bevor die Akt. B (Fahrzeug an Kunde ausliefern) abgeschlossen wird. Es ist nicht möglich, das Fahrzeug danach noch zu reinigen. Es ist jedoch erlaubt, dass die Akt. A und B überlappend ausgeführt werden, wenn z.B. das Fahrzeug während einer Transportpause gereinigt wird.

KF-5e: Optionale Abhängigkeiten Als Erweiterung sollen zudem Start-Ende-Abhängigkeiten verwendbar sein, die eine optionale Ordnung festlegen. Eine solche Reihenfolge soll eingehalten werden, muss aber nicht. Die idealerweise als erstes auszuführende Aktivität wird in der Arbeitsliste entsprechend gekennzeichnet, aber auch die optionalen Nachfolger sind dort sichtbar. Der Benutzer kann sich also entscheiden, eine dieser Aktivitäten zuerst zu bearbeiten.

KF-5f: Zeitabstände Zusätzlich zur Reihenfolgebeziehung kann es erforderlich sein, dass zwischen den Aktivitäten zeitliche Minimal- und Maximalabstände existieren. So muss z.B. ein in Akt. A gehärtetes Bauteil mind. 24 Stunden abkühlen, bevor es lackiert werden

darf (Akt. B). Die Akt. B erscheint deswegen erst dann in den Arbeitslisten der Benutzer, wenn diese 24 Stunden verstrichen sind. Solche zeitlichen Abstände werden ebenfalls im Prozessmodell definiert, sind durch die Prozess-Engine sicherzustellen und können sich auf die Start- und Endezeitpunkte der Aktivitäten beziehen.

KF-5g (Mutual-Exclusion): Von den in ein solches Konstrukt eingebetteten Aktivitäten darf stets nur eine einzige bearbeitet werden, die anderen müssen vollständig davor oder vollständig danach bearbeitet werden.

KF-6 Prozessgraph-unabhängige Aktivitäten

Es kann Aktivitäten in einem Geschäftsprozess geben, die den Benutzern zusätzlich angeboten werden sollen, d.h. die nicht in den Prozessablauf eingebunden sind. Diese können spontan, aufgrund der Entscheidung eines Benutzers ausgeführt werden. Im CMP aus Abb. 1 kann jederzeit festgestellt werden, dass in Akt. E ein Nachbarteil vergessen wurde, so dass die Prozessgraph-unabhängige Akt. O ausgeführt wird. Diese ergänzt die Liste der Nachbarteile, so dass ein zusätzlicher Zweig der Multi-Instanz-Parallelität gestartet wird (ggf. nachträglich, vgl. KF-4). Eine solche Prozessgraph-unabhängige Aktivität kann vom Benutzer z.B. über das Programm-Menü gestartet werden.

Zur Buildtime müssen Prozessgraph-unabhängige Aktivitäten (wie normale Aktivitäten) vollständig modelliert werden, inkl. einer Bearbeiterzuordnung, der Anbindung ihrer Input-/Output-Parameter an Prozessvariablen (hier: Liste Nachbarteile), etc. Zur Runtime können sie weitgehend wie normale Aktivitäten verwendet werden, so dass für die Benutzer ein viel geringerer Aufwand entsteht (vgl. Abschnitt 1), als für das dynamische Einfügen [RD98] einer zusätzlichen Aktivität.

Für Prozessgraph-unabhängige Aktivitäten muss zudem festgelegt werden, ob sie mehrfach ausgeführt werden dürfen. Ggf. ist zusätzlich eine „Prozessregion“ erforderlich, die angibt, wann diese Aktivität ausführbar ist. Beim CMP darf die Akt. O zwar beliebig oft, aber nur vor Ende der Multi-Instanz-Parallelität ausgeführt werden (vor dem ∀-Join).

KF-7 Benutzer-Aktionen

Ein Benutzer kann spontane Aktionen durchführen, die den Ausführungszustand einer Prozessinstanz, und damit den Kontrollfluss-Ablauf, verändern. Im Gegensatz z.B. zu optionalen Aktivitäten (KF-1) ist eine solche Aktion selbst nicht vorgeplant, d.h. im Prozessmodell nicht enthalten. Dem Benutzer wird auch nichts Spezielles in seiner Arbeitsliste dargestellt. Stattdessen werden solche Aktionen mittels des Programmmenüs oder stets vorhandener Buttons ausgelöst. Für die nachfolgend erwähnten Aktionen sollte für den betroffenen Prozesstyp bzw. die Aktivität zur Buildtime zumindest festgelegt werden, ob sie überhaupt erlaubt sind und wer die Rechte hierfür besitzt.

KF-7a: Abbruch einer Prozessinstanz

KF-7b: Abbruch einer Aktivität

KF-7c: Überspringen einer Aktivität (Skip)

KF-7d: Kompensation einer Aktivität (Undo)

KF-7e: Wiederholung einer Aktivität (Redo).

Für KF-7a, d und e kann zusätzlich definiert werden, in welchem Prozess-Ausführungszustand die Aktion erlaubt ist. So ist ein Undo einer Aktivität auch denkbar, lange nachdem die ursprüngliche Bearbeitung stattgefunden hat. Für ein Undo kann zudem eine Kompensationsaktivität modelliert werden (ansonsten werden nur die Prozessinstanz-Daten zurückgesetzt) und nach dem Undo kann auch noch ein Redo erlaubt bzw. erzwungen werden (für Details und Praxisbeispiele siehe aus Platzgründen [Ba17]).

4 Diskussion

In [KN06] werden verschiedene Arten von Flexibilität für Geschäftsprozesse vorgestellt. Die Kategorien werden in [Sc07] noch verfeinert, so dass die für uns relevanten Kategorien „Flexibility by Design“ und „Flexibility by Underspecification“ entstehen.

In der Literatur finden sich kaum Arbeiten, die die Fragestellung behandeln, was zur Buildtime vormodelliert werden muss, um zur Runtime eine große Flexibilität bei gleichzeitig geringem Aufwand für die Benutzer zu erreichen. Der Ansatz, der in der Literatur am häufigsten zur Vormodellierung von Sonderfällen und Ausnahmebehandlungen vorgeschlagen wird, ist ein Exception-Handling auf Basis von Events und Exception-Handlern [Le10, RW12]. Für Aktivitäten oder ganze Regionen wird ein (ggf. unterbrechendes) Event definiert. Falls dieses zur Runtime auftritt (Throw), führt es zur Ausführung eines Exception-Handlers (Catch). Dieses Vorgehen ähnelt dem in Programmiersprachen (Try-Catch-Block) und eignet sich insb. zum Abfangen von technischen Fehlern wie z.B. einem Abbruch des Aktivitätenprogramms. Es ist für einige der vorgestellten Anforderungen überhaupt nicht geeignet (z.B. optionale Aktivitäten, Start-Ende-Abhängigkeiten), weil hier gar kein Ausnahmefall vorliegt.

Komplexe Kontrollfluss-Pattern ermöglichen eine gewisse Art von Flexibilität [RH06 RW12]. Allerdings liegt hier der Fokus nicht auf Anforderungen bzgl. der Vormodellierung von Sachverhalten, mit dem Ziel eine große Flexibilität zur Runtime zu erhalten. Dasselbe gilt für weitere Arbeiten zur Flexibilisierung von Prozessen, wie z.B. Schemaevolution [Ri04], Variantenmanagement [RHB15], Constraint-basierte Prozesse [Bo11, Pe07, RW12], etc. Für eine ausführliche Diskussion dieser Arbeiten muss aus Platzgründen auf [Ba17] verwiesen werden.

5 Zusammenfassung und Ausblick

In PMS muss vom vorgegebenen Prozess abgewichen werden können, damit diese Systeme in der Praxis benutzbar sind. Dynamische Änderungen sind bei vorhersehbaren Abweichungen jedoch ein zu großer Aufwand und eine unnötige Fehlerquelle. In diesem Beitrag werden Anforderungen und zugehörige Praxisbeispiele vorgestellt, die zeigen, wie

vorhersehbare Sonderfälle und Ausnahmebehandlungen bereits zur Buildtime vormodelliert werden können. Dies soll auch einen Beitrag dazu leisten, Tool-Hersteller zur Unterstützung der beschriebenen Szenarien in kommerziellen PMS zu motivieren.

Die Relevanz und Vollständigkeit der Szenarien sollte noch anhand von weiteren Praxisbeispielen verifiziert werden. Dies wird dadurch erschwert, dass einige der vorgestellten Konstrukte bei einer klassischen Prozessmodellierung nicht vorgesehen sind (z.B. Start-Ende-Abhängigkeiten existieren nicht bei EPKs und BPMN). Deshalb werden entsprechende Situationen in bereits existierenden Prozessmodellen evtl. nicht erfasst worden sein, obwohl sie eigentlich existieren. Einzelne der vorgestellten Anforderungen sollen im Projekt CoPMoF noch weiter detailliert werden. Dies ist z.B. für Sprünge (KF-3) erforderlich. Hier muss die gewünschte Ausführungssemantik noch formal und damit eindeutig definiert werden, weil diese im Zusammenspiel mit Parallelitäten nicht offensichtlich ist. Dasselbe gilt für Start-Ende-Abhängigkeiten (KF-5).

6 Literaturverzeichnis

[Ba17] Bauer, T.: Vormodellierte Flexibilität in Prozess-Management-Systemen: Anforderungen, Vorgehensweisen, Lösungsansätze. Technischer Bericht (HNU WP 37), 2017.

[Bo11] Boukhebouze, M. et al.: A Rule-based Approach to Model and Verify Flexible Business Processes. In Int. Journal of Business Process Integration and Management, 2011, 5; S. 287–307.

[KN06] Kumar, K.; Narasipuram, M.: Defining Requirements for Business Process Flexibility. In Workshop on Business Process Modeling, Design and Support, Proc. of CAiSE06 Workshops, 2006; S. 137–148.

[Le10] Lerner, B. S. et al.: Exception Handling Patterns for Process Modeling. In IEEE Transactions on Software Engineering, 2010, 36; S. 162–183.

[Pe07] Pesic, M. et al.: Constraint-based Workflow Models: Change Made Easy. In Proc. 15th Int. Conf. on Cooperative Information Systems, 2007; S. 77–94.

[RD98] Reichert, M.; Dadam, P.: ADEPTflex - Supporting Dynamic Changes of Workflows Without Losing Control. In Journal of Intelligent Information Systems, Special Issue on Workflow Management Systems, 1998, 10; S. 93–129.

[Re09] Redding, G. et al.: Modelling Flexible Processes with Business Objects. In Proc. IEEE Conf. on Commerce and Enterprise Computing, 2009; S. 41–48.

[RH06] Russell, N.; Hofstede, A. ter: Workflow Control-Flow Patterns. A Revised View. BPM Center Report BPM-06-22, 2006.

[RHB15] Reichert, M.; Hallerbach, A.; Bauer, T.: Lifecycle Management of Business Process Variants. In (J. vom Brocke, M. Rosemann Hrsg.): Handbook on Business Process Management, 2nd Edition. Springer, 2015; S. 251–278.

[Ri04] Rinderle, S.: Schema Evolution in Process Management Systems. Dissertation, Universität Ulm, 2004.

[RW12] Reichert, M.; Weber, B.: Enabling Flexibility in Process-Aware Information Systems. Challenges, Methods, Technologies. Springer, 2012.

[Sc07] Schonenberg, M. et al.: Towards a Taxonomy of Process Flexibility (Extended Version), Eindhoven University of Technology, 2007.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 815

Adaptive Case Management in sozialen Einrichtungen

Paul Herzog[1] und Birger Lantow[2]

Abstract: Adaptive Case Management (ACM) ist ein Ansatz zum Management von wissensintensiven Prozessen. Mit „Case Management Model and Notation“ (CMMN) existiert ein Industriestandard zur Modellierung von Prozessen im Rahmen von ACM. CMMN definiert jedoch lediglich eine mögliche Notation für Prozessmodelle. Methoden zur Erhebung und zum Management von Fällen wurden bisher jedoch kaum betrachtet. Diese Arbeit untersucht zum einen die grundsätzliche Eignung von ACM für den sozialen Sektor und betrachtet zum anderen die Methodenunterstützung für das ACM. Diese Methodik wird im Rahmen einer Fallstudie evaluiert.

Keywords: ACM, Adaptive Case Management, Fallmanagement, Wissensintensive Prozesse, GPM 2.0, CMMN

1 Einleitung

Adaptive Case Management (ACM) ist ein Ansatz zum Management von wissensintensiven Prozessen. Mit „Case Management Model and Notation“ (CMMN)[3] existiert ein Industriestandard zur Modellierung von Prozessen im Rahmen von ACM. CMMN definiert jedoch lediglich eine mögliche Notation für Prozessmodelle. Methoden zur Erhebung und zum Management von Fällen wurden bisher jedoch kaum betrachtet. Diese Arbeit untersucht zum einen die grundsätzliche Eignung von ACM für den sozialen Sektor und betrachtet zum anderen die Methodenunterstützung für das ACM. Abschnitt 2 der Arbeit geht dazu auf bisherige Arbeiten zu den Grundlagen des ACM ein und setzt diese in Beziehung zum Fallmanagement in sozialen Einrichtungen. Abschnitt 3 betrachtet mit der Arbeit von Kurz und Herrmann die bisher umfangreichste Arbeit zur methodischen Unterstützung von ACM. Diese wird kritisch betrachtet und erweitert. Der folgende vierte Abschnitt wendet zur Evaluierung die erweiterte Methodik im Rahmen einer Fallstudie an. Im letzten Abschnitt werden die Ergebnisse dieser Arbeit noch einmal zusammengefasst.

[1] Universität Rostock, Lehrstuhl Wirtschafsinformatik, 18051 Rostock, paul.herzog@uni-rostock.de
[2] Universität Rostock, Lehrstuhl Wirtschafsinformatik, 18051 Rostock, birger.lantow@uni-rostock.de
[3] http://www.omg.org/spec/CMMN/1.1/

doi:10.18420/in2017_81

2 Adaptive Case Management und soziale Einrichtungen

Im Folgenden werden ACM und das Fallmanagement in sozialen Einrichtungen in Beziehung gesetzt. Dazu werden zunächst die zentralen Prinzipien des ACM erläutert und eine Abgrenzung zum traditionellen GPM durchgeführt. Abschnitt 2.3 stellt dann basierend darauf die Beziehung zum Fallmanagement in sozialen Einrichtungen dar.

2.1 Zentrale Prinzipien des Adaptive Case Managements

Seine Ursprünge hat der Begriff Adaptive Case Management (ACM) im Jahr 2009. Fachexperten erkannten, dass das traditionelle operative Geschäftsprozessmanagement (GPM) den heutigen Anforderungen von Wissensarbeitern nicht mehr genügt [Pal10, S. 1ff.]. ACM bezieht sich auf die Verwaltung der Aufgaben und Arbeiten, die nötig sind, um einen Geschäftsvorfall zu behandeln. Dabei spielen der Arbeitskontext, Veränderungen in der Umwelt und die Planung während der Durchführung eine entschiedene Rolle. [Bur11, S. 17ff.]

In diesem Zusammenhang ist nun zentraler Gegenstand des Managements ein Fall und nicht ein Prozess, um die unterschiedliche Sicht auf die Unternehmensprozesse zu verdeutlichen. Ein Fall ist ein Paket aus mehreren Aufgaben. Dabei gibt es geplante und ungeplante Aufgaben, die einen bestimmten Zweck erfüllen sollen. Jeder Fall kann in verschiedene Aufgaben und Prozesse unterteilt werden. Der Fall definiert sich dabei über seinen Zweck. Fälle können Fälle enthalten. [Bur11, S. 18]

Aufbauend auf dem Fallbegriff gibt es die Begriffe Fallvorlage und Fallinstanz. Eine Fallvorlage ist dabei die Entsprechung eines Prozessmodells, die Fallinstanz entspricht einer Prozessinstanz [KH11, S. 6]. Jede Fallinstanz stellt eine unterschiedliche und manchmal sogar eine einzigartige Situation dar. Daraus resultiert, dass die Bewältigung einer Fallinstanz immer einen spezifischen Prozessverlauf hat. [KY14, S. 6] Alle anfallenden Informationen und Daten zu einer Aufgabe oder der Fallinstanz selbst, werden in dieser gespeichert. [Bur11, S. 18]

Das ACM ermöglicht es alle Aktivitäten zu verwalten, die bei einer Fallbearbeitung ausgeführt werden, unabhängig davon, wo oder von wem etwas durchgeführt wird. Es ist möglich eine Zusammenstellung von Arbeitsaufträgen und erbrachter Arbeit zu schaffen und darauf basierend, die Fallbearbeitung zu steuern. Durch die Vermeidung von doppelter oder widersprüchlicher Arbeit wird die Zusammenarbeit und die Leistungsfähigkeit der Mitarbeiter verbessert. Die Arbeitsergebnisse können hinsichtlich der Servicequalität, der Kosten und der Zeit optimiert werden. [Bur11, S. 19]



Abb. 1: Zentrale Prinzipien des ACM nach [KH11, S. 6]

Die zentralen Prinzipien bei der Umsetzung des ACM stellen Kurz und Herrmann in ihrer Arbeit [KH11] dar. Sie untergliedern diese Prinzipien dabei nach den Bereichen Organisation, Fallbearbeitung und Adaption (Abb. 1).

Organisation: Ein Fall orientiert sich immer an mindestens einem Ziel. Die ausgeführten Aktionen leisten einen Beitrag zur Zielerreichung und stehen mit dem Ziel in einem direkten Zusammenhang. Alle Daten werden zentral gespeichert. Die Datenzentralität ermöglicht ein kollaboratives Arbeiten an einem Fall. Die Steuerung eines Falls durch einen vordefinierten Kontrollfluss ist nicht möglich, da dieser eine zu geringe Strukturiertheit und eine hohe Variabilität aufweisen kann. Der Ablauf eines Falls wird stattdessen durch die während der Fallausübung anfallenden Daten geprägt. Um das Ziel zu erreichen, werden Aufgaben durch den Fallprozess und die anfallenden Daten gebündelt. [KH11, S. 6f.]

Fallbearbeitung: Wissensarbeit beziehungsweise die zu erledigenden Aufgaben eines Falls sind stark kollaborativ. Die Beteiligten müssen untereinander kommunizieren, zusammenarbeiten und diese Zusammenarbeit steuern können [McC10, S. 271]. Daher steht die Zusammenarbeit im Fokus des ACM. Diese kann durch geeignete Werkzeuge zur sozialen Interaktion erreicht werden [KH11, S. 7]. Diese Werkzeuge müssen dabei auch die zur effizienten Fallbearbeitung notwendige Transparenz gewährleisten. Alle erforderlichen internen und externen Ressourcen, wie zum Beispiel Personen oder Informationen zum vorliegenden Fall, müssen in strukturierter Form bereitgestellt werden. Das bedeutet, dass alle an einem Fall beteiligten Personen auf das im Unternehmen vorhandene Wissen und auf die schon erarbeiteten Ergebnisse Zugriff ha- ben müssen [McC10, S. 267 ff.]. Die Transparenz spielt sowohl vor, während als auch nach dem Abschluss einer Fallinstanz eine entscheidende Rolle. Die Bearbeiter müssen um die zu erledigenden Aufgaben und ihre Zusammenhänge bereits vor dem Beginn der Fallbearbeitung wissen. Gleichzeitig müssen vorangegangen Fallabläufe nachvollziehbar sein und das dort entstandene Fallwissen abrufbar sein. [McC10, S. 268, 271 f.]

Adaption: Hier steht der Wissensarbeiter im Mittelpunkt und soll selbstständig die Möglichkeit haben, das System auf seine Bedürfnisse hin anzupassen. Ziel ist es, dass dieser den Ablauf so anpasst, dass eine effiziente Bearbeitung möglich ist. Die Adaption

kann in zwei Ebenen erfolgen. Zum einen die Adaption während der Fallausführung, welche die Anpassungen des Systems an einer speziellen Fallinstanz während deren Ausführung beschreibt. Es besteht dadurch zu jeder Zeit die Möglichkeit einer Fallinstanz flexibel zu bearbeiten. Externe beziehungsweise interne Ereignisse oder fallinterne Erkenntnisse können hierfür ein Grund sein. Dabei stellen Geschäftsregeln eine strukturierte, effiziente und zielführende Prozessführung sicher. [KH11, S. 7 f.]

Die zweite Ebene nutzt das erlangte Wissen aus abgeschlossenen Falleninstanzen, um Fallvorlagen anzupassen und das gesamte System fortlaufend zu verbessern [McC10, S. 274]. Fehler sollen so nur einmal gemacht werden und oft genutzte Fallelemente können für künftige Fallinstanzen verfügbar gemacht werden. Dabei können ganze Fallvorlagen oder nur einzelne Fallkomponenten angepasst werden. Diese fallübergreifende Adaption beschreibt die Änderungsflexibilität von Geschäftsprozessen sowohl durch die Mitarbeiter als auch durch das System. [KH11, S. 8]

2.2 Abgrenzung zum traditionellen Geschäfts-Prozess-Management (GPM)

Der direkte Vergleich von traditionellem GPM und ACM liegt im Grad der Determiniertheit. Beim GPM sind die deterministischen Prozesse im Voraus bestimmbar. Tatsächliche Prozessschritte können sehr komplex sein, jedoch sind die Entscheidungen, die Regeln und alle Einflüsse, die den Prozessfluss regeln, vordefiniert. Der Status eines Prozesses ist ebenfalls eindeutig zu identifizieren.

ACM ist hingegen nicht deterministisch. Das Ziel ist bekannt, der Weg zum Ziel ist jedoch offen und kann von Fall zu Fall variieren. Außerdem kann ein Prozess im ACM häufig nicht angehalten werden, da es keine vordefinierte Abfolge von Aktivitäten gibt, sondern Reihenfolgen variieren und Aktivtäten parallel bearbeitet werden können. [Fis11, S. 81]

Eine Weiterentwicklung von GPM, welche ähnliche Ansätze wie ACM aufweist, ist das Business Process Management 2.0 (BPM 2.0). Die Grundidee des BPM 2.0 ist, dass Mitarbeiter, im Rahmen ihrer täglichen Arbeit, selbstständig Verbesserungspotentiale für Geschäftsprozesse sehen und Änderungen vorschlagen können. Daraus sollen sich Prozessinnovationen ergeben, welche das prägende Ziel des BPM 2.0 sind. Die Prozessinnovationen entstehen durch kollaborative Arbeit unter den Mitarbeitern und gemeinsam entwickelte Ideen zur Verbesserung von Prozessen. Dadurch soll ein erheblicher Lösungsbeitrag für die identifizierten Flexibilitätshemmnisse im BPM beigetragen werden. [Kur11, S. 193 ff.]

Das BPM 2.0 ist ein Schritt in Richtung ACM jedoch nicht so flexibel und anpassbar [Kur11, S. 193 ff.]. Es bildet Teilaspekte des ACM ab, welches auf dem BPM 2.0 aufbaut [KH11, S. 5].

2.3 Situation im Sozialen Sektor und Adaptive Case Management

Vor allem in den Bereichen der Gesundheit, Jugend- und Familienhilfe und der Altenarbeit beschreibt Fallmanagement (Case Management, CM) eine grundlegende Arbeitsweise [LKR+05, S. 67]. Im Gegensatz zum ACM wo Prozessteuerung und IT-Unterstützung im Vordergrund stehen, zielt das CM auf die ganzheitliche Organisation der Hilfe für ein bedürftiges soziales Teilsystem (i.d.R. einzelne Menschen oder Familien = Klienten ≡ Fallinstanzen) ab. Ziel ist dabei ein effizienter und effektiver Einsatz verfügbarer Ressourcen [Bri10, S. 34ff.][MS09]. Im sozialen Bereich (Sozialarbeit und Sozialpädagogik) ist das CM durch gesetzliche Vorgaben und Verordnungen die grundlegende Arbeitsweise. Im Bereich der medizinischen Versorgung, wo CM auch verwendet wird, findet es für Patientengruppen statt, bei denen die Regelversorgung nicht bzw. wenig erfolgversprechend ist [KS15]. Es gilt nun zu klären, inwiefern die Charakteristika des CM im sozialen Sektor eine IT-Unterstützung durch ACM geeignet erscheinen lassen.

Grundlegend sind beim CM im sozialen Sektor zwei Ebenen zu unterscheiden. Zunächst sind die Aktivitäten des einzelnen Professionellen in der *Fallarbeit* zu sehen, dann auf übergeordneter Ebene die Koordination der der durch verschiedene Professionen bereitgestellten Ressourcen - der *CM-Prozess*.

Ein vielfach verwendetes Modell zur Beschreibung der *Fallarbeit* ist das zirkulär wirksame Vier-Ebenen-Modell von Berthold Müller [MS09, S. 133]. Sein Vier-Ebenen-Modell sieht Anamnese, Diagnose, Intervention und Evaluation als wesentliche Aktivitäten. Diese einzelnen Handlungsschritte folgen nicht linear aufeinander, sondern sollen „sich gegenseitig durchdringen und immer wieder von vorn beginnen können“ [Mül93, S. 55]. Aus diesem Grund können Probleme bei starren Prozessabläufen auftreten. Das Vier-Ebenen-Modell von B. Müller zeigt, dass Schritte, die im Idealfall nacheinander bearbeitet werden sollten, häufig sprunghaft und gleichzeitig ablaufen. Das Verständnis eines jeden Sozialarbeiters bestimmt jeden weiteren Schritt. Mit der Anamnese wird beispielsweise unweigerlich die Diagnose verknüpft. Daraus folgt, dass die Diagnose oft schon antizipiert wird, bevor genügend Informationen vorliegen. Der Prozess der Annahme, Bestätigung und der Definition einer Diagnose läuft praktisch parallel zur Sammlung von Informationen ab, jedoch auf einer anderen Ebene [MS09, S. 133]. Gleichzeitig beeinflussen aber auch die anderen Ressourcen, welche dem Fall zugeordnet werden können die *Fallarbeit*. Dabei ist vor allem der Klient selber, aber auch sein Umfeld und sein Netzwerk wichtig und interessant [Neu12, S. 67]. Es gibt weiterhin eine Schnittstellenproblematik zu anderen Professionen welche notwendige Dienstleistungen bereitstellen [Neu12, S. 67 f.]. Im Ergebnis sind die Prozesse in der *Fallarbeit* aufgrund der Subjektivität und der Variabilität des Umfelds kaum strukturierbar und somit in Aktivitätsmodellen wie auch in ACM kaum darstellbar.

Der *CM-Prozess* als übergreifendes Steuerungsmittel gibt auf Basis gesetzlicher Vorgaben und um eine Steuerung und Koordination zu ermöglichen einen festen Ablauf vor [vR09, S. 41][MS10, S.121]. Ein typischer Ablauf ist folgender: (1)

Fallgruppenbestimmung/Screening, (2) Assessment/Diagnose, (3) Planung, (4) Implementierung, (5) Monitoring, (6) Evaluation, (7) Rechenschaftslegung. Der erste Schritt der Fallgruppenbestimmung bzw. des Screenings dient zum einen der Bestimmung von Charakteristika, die eine Anwendung des CM für einen Klienten rechtfertigen und die gleichartige Fälle (Fallgruppen) beschreiben. Im Screening werden diese Charakteristika verwendet, um Klienten für bestimmte Fallgruppen zu identifizieren. Die Schritte 2 bis 6 entsprechen in ihren Inhalten den vier Ebenen des Modells von Müller. Im Gegensatz zur Beschreibung der *Fallarbeit* geht es hier beim *CM-Prozess* nicht um individuelle Arbeitsprozesse, sondern um die Koordination und Steuerung der Tätigkeit mehrerer Professionen im Fall. Für die Übernahme dieser Koordinationsaufgabe sieht das CM die spezielle Rolle des Fallmanagers [MS10] vor. Es ist daher eine klare Abgrenzung der einzelnen Schritte notwendig. Gleichwohl sind diese Schritte mehrfach während der Fallbearbeitung zu durchlaufen und sind auch der Variabilität des Umfelds unterworfen. Schritt 7 dient der fallübergreifenden Dokumentation und Überprüfung der generellen Wirkung des CM.

Die Beschreibung des CM im sozialen Sektor lässt auf eine grundsätzliche Anwendbarkeit des ACM schließen. Die Charakteristika des Anwendungsgebiets entsprechen den in Abschnitt 2.1 beschriebenen – kollaborativ, wissensintensiv, kein klarer Kontrollfluss. Gleichzeitig wird eine Anwendung in der *Fallarbeit*, wo sich Tätigkeiten nicht gegeneinander Abgrenzen lassen schwierig sein. Demgegenüber steht eine mögliche Unterstützung des *CM-Prozesses*, der eine entsprechende Variabilität aufweist, Kollaboration erfordert und mit der Fallgruppenbestimmung sowie der Rechenschaftslegung eine fallinstanzübergreifende Wissenssicherung beinhaltet. Während im klinischen Sektor eine IT-Unterstützung des Fallmanagements vor allem auf der Basis eines Dokumentenmanagements und der Verfügbarmachung der zur Koordination und Planung notwendigen Informationen besteht [vR09 S. 124ff.], fehlt im sozialen Bereich sowohl die Dokumentenverwaltung als auch die Prozesssteuerung.

3 Methodenunterstützung des Adaptive Case Management

Zur Beschreibung der Methodenunterstützung des ACM wird das Methodenmodell von Goldkuhl et al. [GLS98] genutzt. Eine Methode setzt sich hier aus mehreren Methodenkomponenten zusammen, die jeweils Teilprobleme der Methodenanwendung adressieren. Jede Methodenkomponente beschreibt Abläufe (Procedures), Konzepte und eine Notation. Ergänzend zu den Methodenkomponenten gehören zur Methodendefinition die Perspektive (Problemdefinition, Scoping), Kooperationsformen und ein Framework, welches zur Steuerung des Einsatzes der Methodenkomponenten dient. Während die Perspektive und Konzepte in der wissenschaftlichen Literatur eingehend beschrieben sind (siehe Abschnitt 2.1) und mit CMMN eine Notation existiert, werden andere Methodenbestandteile kaum betrachtet. Kurz und Herrmann bieten eine weitergehende Methodenunterstützung, die in Abschnitt 3.1 kurz dargestellt und dann in Abschnitt 3.2 kritisch betrachtet und erweitert wird.

3.1 Methodik nach Kurz und Herrmann

Das Vorgehens- und Rollenmodell von Matthias Kurz und Christian Herrmann aus dem Jahr 2011 ist ein erster Ansatz für eine Methodik zum ACM. Die Methode basiert auf dem Business Process Management 2.0 (BPM 2.0) Ansatz und wurde für das ACM angepasst.



Abb. 2: Vorgehensmodell und Rollen nach Herrmann und Kurz [HK11]

Die Methodik wird auf Basis eines Vorgehens- und eines Rollenmodells (Abb. 2) beschrieben. Das Rollenmodell definiert die Verantwortlichkeiten in den einzelnen Phasen des ACM-Prozess. Insgesamt werden 11 Rollen definiert. Das Vorgehensmodell beschreibt die anfallenden Aufgaben im ACM und ihre Abfolge:

Zunächst wird in der Ausführungsphase die Fallvorlage ausgewählt, welche den generellen Ansprüchen des Falls am nächsten kommt. Eine Instanz wird erzeugt. Diese Instanz wird entweder bereits vor oder während der Fallbearbeitung an die konkreten Fallanforderungen angepasst. Dies geschieht entweder innerhalb einer oder mehrerer Iterationen. Diese Vorgehensweise bringt einige Vorteile mit sich. Ein flexibler Umgang mit geänderten Rahmenbedingungen und Anforderungen ist möglich. Außerdem können Verbesserungen durch die Begrenzung des zu implementierenden Funktionsumfanges einzelner Iterationen schneller umgesetzt werden. Dadurch wird das System von den Anwendern und dem Management besser akzeptiert. [KH11, S. 9]

Fallanpassungen werden durch Mitarbeiter (Rollen 1, 2, 3) erstellt oder kollaborativ entwickelt. Im weiteren Verlauf werden Verbesserungsvorschläge durch die Fallverantwortlichen (Rollen 6, 7) bewertet und auf Korrektheit überprüft. Wenn die Zustimmung (Rolle 7) erteilt wurde, wird die Anpassung anschließend implementiert (Rollen 4, 5). Im einfachsten Fall geschieht dies automatisiert, wie zum Beispiel beim Anlegen einer neuen Prozessaufgabe. Bei einigen Fällen ist es möglich, dass zusätzlich manuelle Entwicklungsarbeiten erforderlich sind, wie beispielsweise bei der

Bereitstellung komplexer Funktionalitäten. [KH11, S. 10]

In der Kontrollphase werden, sobald die Fallziele erreicht sind und der Fall damit abgeschlossen ist, die Zielerreichung und die Effizienz des Fallablaufs bewertet. Auch die im Rahmen der fallspezifischen Adaption durchgeführten Änderungen werden evaluiert (Rolle 8, 9). Wenn für eine Fallvorlage genügend Informationen und Ansätze für Verbesserungen existieren, können diese in der fallübergreifenden Adaption für die Anwendung in zukünftigen Fällen generalisiert und bereitgestellt werden. Einzelne Fallkomponenten oder ganze Fallvorlagen können so in die Bibliothek übernommen werden oder bereits existierende Fallvorlagen und -komponenten können angepasst oder als spezialisierte Varianten separat gespeichert werden. [KH11, S. 10]

Die Rollen 10 und 11 haben übergreifend unterstützende Funktion. Der Mediator (Rolle 10) vermittelt bei Konflikten. Der Champion (Rolle 11) dient als Unterstützer des ACM im Unternehmen. [KH11, S. 13]

3.2 Kritik und Erweiterung der Methodenunterstützung

Die von Kurz und Herrmann vorgeschlagene Methodik ist nur durch Experteninterviews validiert worden [KH11, S. 42 ff.]. Im Ergebnis stand eine grundlegende positive Wahrnehmung der Methodik. Ein Kritikpunkt war die Komplexität des vorgeschlagenen Vorgehens zur Adaption vor bzw. während der Fallbearbeitung. Eine detaillierte Evaluierung einzelner Methodenkomponenten erfolgte nicht. Es wurde nur nach der grundlegenden Eignung für das Prozessmanagement gefragt. Methodenkomponenten sind auch nicht soweit ausspezifiziert, dass Abläufe innerhalb der Methodenkomponenten konkret beschrieben werden. Das Vorgehensmodell stellt eher einen Rahmen vor. Mit dem Rollenmodell wird die Basis geschaffen, Kooperationsformen zu definieren, aber auch diese sind nicht ausspezifiziert. Weiterhin fehlen Methodenkomponenten, die beschreiben, wie a) Fälle identifiziert werden (vgl. Fallgruppenbestimmung, Abschnitt 2.3) und b) wie initiale Fallvorlagen geschaffen werden. Außerdem wird c) der Modellierung der Fallziele, welche einen bedeutenden Aspekt der Fallbeschreibung darstellen sollten, kein besonderer Raum geschenkt. Hinzu kommt ein komplexes Rollenmodell, welches zumindest in kleinen Unternehmen so nicht praktikabel ist. Gleichzeitig wird die spezielle Rolle des Fallmanagers (vgl. Abschnitt 2.3) nicht abgebildet.

Im Rahmen dieser Arbeit wird eine Methodenkomponente vorgeschlagen, welche dem Ziel b) der Schaffung initialer Fallvorlagen und c) der Definition von Fallzielen dient. Zielstellung a) Identifikation von Fallgruppen wurde nicht betrachtet, da eine Validierung im Kontext der Fallstudie (siehe Abschnitt 4) nicht möglich gewesen wäre. Das betrachtete Unternehmen kennt und nutzt zwar CM, eine Unterscheidung von Fallgruppen wurde dort aber durch die Beteiligten nicht für sinnvoll erachtet.

Bezüglich der Notation und der Konzepte werden in der Methodenkomponente CMMN, die zu CMMN definierten Konzepte und die in dieser Arbeit bereits vorgestellten

Konzepte genutzt. Zusätzlich wird noch eine gegenüber CMMN vereinfachte Notation genutzt, die in Abbildung 3 dargestellt ist. Kooperationsform ist ein leitfadengestütztes Interview, durchgeführt vom Methodenexperten (Rolle 5) mit Mitarbeitern (Rolle 1) und Verantwortlichen in dispositiver Funktion (Rolle 8 und 9), um verschiedene unternehmensinterne Sichten auf die Fallbearbeitung zu nutzen.

Ein Interviewleitfaden beschreibt den konkreten Ablauf (Procedure). Es konnte kein fertiger auf die Bedürfnisse dieser Arbeit zugeschnittener Interviewleitfaden gefunden werden, deshalb wurden aus verschiedenen Veröffentlichungen Fragen zusammengestellt und angepasst. Der Großteil der Ideen stammt aus der Ausarbeitung von Nils Prenner [Pre15], der in seiner Arbeit Werkzeuge zur Erfassung von Geschäftsprozessen durch Interviews behandelt. Auch die Fragen zur Prozessmodellierung von Benjamin Trinczek [Tri15] wurden herangezogen.

In Tabelle 1 sind die Leitfragen zum Interview zu sehen. Die erste und zweite Frage „Was ist Ihr Beruf?“ beziehungsweise „Was sind dabei Ihre Aufgaben?“ wurden unverändert von Nils Prenner [Pre15, S. 65] übernommen. Auch die dritte Frage „Wenn sich ein Klient, bezüglich des genannten Falls, bei Ihnen meldet, wie läuft das ab?“ wurde sinngemäß von Prenner übernommen und nur formal angepasst. Die vierte Frage, „Welche Aktivitäten werden durchgeführt, von wem und wo?“, kombiniert drei Leitfragen von Benjamin Trinczek [Tri15, S. 11]. Die Ursprünglichen Fragen waren: „Was wird gemacht (Aktivität)?“, „Wer führt die Aktivitäten durch? (Rolle/Person)“ und „Wo werden die Aktivitäten durchgeführt? (Ort / Organisationseinheit)?“. Mit der Frage „Welche Werkzeuge werden benötigt?“ von Trinczek wurde die fünfte Frage entwickelt und leicht erweitert. Auch die sechste Frage konnte sinngemäß von Trinczek übernommen werden. Die folgenden Fragen sind durch eigene Überlegungen entstanden. Die Fragen 7 und 8 machen die Abgrenzung zum klassischen BPM deutlich, hier wird auf Aktivitäten abgezielt, die außerhalb eines definierten Kontrollflusses durchgeführt werden. Frage 9 adressiert die Zielorientierung und den Projektcharakter der Fallbearbeitung. Hier geht es um die Identifikation wichtiger Fallziele.

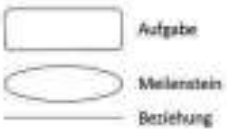


Abb. 3: Notation zur Fallbeschreibung während der Interviews

Parallel zum Interview wird eine Skizze mit allen Aufgaben und vereinzelten Zusammenhängen angefertigt. Diese dient der besseren Übersicht während des Interviews, damit Interviewer und Befragter nicht den Überblick verlieren. Die Skizzen basieren auf der vereinfachten Notation (Abbildung 3). Damit jeder Befragte unvoreingenommen den Fallablauf schildert, wird bei jedem Interview eine neue Skizze angefertigt. Im Anschluss an die Interviews wird eine Fallvorlage in CMMN-Notation erstellt.

Frage	Erläuterung	Ziel
1. Was ist Ihr Beruf?	Berufsbezeichnung herausfinden	Einstieg in das Gespräch
2. Was sind dabei Ihre Aufgaben?	Aufgabenfeld herausfinden	Alle Aufgaben, die der Mitarbeiter hat erkennen.
3. Wenn sich ein Klient bezüglich des genannten Falls, bei Ihnen meldet, wie läuft das ab?	Ablauf des Falls	Ersten Eindruck zum Fallablauf gewinnen; Abbildung eines Kontrollflusses möglich?
4. Welche Aktivitäten werden durchgeführt, von wem und wo?	Aufgaben, Aktivitäten und Prozesse aufdecken; Ortsbezug feststellen	Alle relevanten Aktivitäten und Aufgaben herausfinden und klären, wo eine Aktivität stattfindet.
5. Welche weiteren Werkzeuge bzw. Vorarbeiten werden benötigt?	Bedingungen für die Aufgaben herausfinden	Beziehungen vertiefen und Abhängigkeiten darstellen
6. Was sind die Auslöser der Aktivitäten?	Auslöser und Abhängigkeiten herausfinden	Die Auslöser und Abhängigkeiten zwischen den Aktivitäten verstehen und somit Abläufe erkennen.
7. Welche Aktivitäten können Sie zu einem beliebigen Zeitpunkt erledigen?	zeitlich unabhängige Aktivitäten	Unabhängige und zeitlich unabhängige Aktivitäten darstellen
8. Welche Aktivitäten müssen Sie zu einem oder bis zu einem bestimmten Zeitpunkt erledigen?	zeitlich abhängige Aktivitäten	Zeitliche Erfordernisse des Falls erfassen, Abhängigkeiten der Aktivitäten definieren bzw. anpassen
9. Welche Meilensteine gibt es in dem genannten Fall?	Meilensteine zum Fallfortschritt	Meilensteine definieren um später den Fallfortschritt erkennen zu können.
10. Gibt es Aktivitäten oder Abhängigkeiten, die noch nicht genannt wurden?	Kontrolle des bisher Genannten	Richtigkeit eines späteren Modells gewährleisten.

Tab. 1: Leitfragen zum Interview

4 Fallstudie zur Fallmodellierung

Die Fallstudie wurde in Zusammenarbeit mit der GeBEG, Gesellschaft für Bildung, Erziehung und Gesundheit Regionen Rostock mbH durchgeführt. Die Hauptarbeit der GeBEG findet zusammen mit Familien, Eltern, Kindern und dem Jugendamt statt. Es wurde der Fall „Hilfe zur Erziehung“ zur Modellierung ausgesucht.

Zur Fallmodellierung wurden vier Mitarbeiter der GeBEG mit der in Abschnitt 3.2 beschriebene Methodik befragt. Darunter waren 3 Sozialarbeiter (entsprechend Rolle 1) und einer der vier Geschäftsführer (entsprechend Rolle 8, 9). Der Methodenexperte (Rolle 5) ist in diesem Fall unternehmensextern. Die formale Rolle eines Fallmanagers (vgl. Abschnitt 2.3) gab es im untersuchten Unternehmen nicht, da die professionsübergreifende Koordination durch das Jugendamt erfolgt. Nach dem dritten Interview konnten keine noch nicht genannten Aufgaben mehr gefunden werden. Im Ergebnis zeigt sich die folgende Beschreibung des Falls (Fallmodell in Abbildung 4).

Die meisten Aktivitäten haben keinen vorgegebenen Ablauf beziehungsweise keine vorgegebene Reihenfolge. Es gibt feste Aktivitäten und Abläufe, diese beziehen sich aber auf konkrete Anforderungen beziehungsweise Vorgaben durch die Ämter. Andere im Fall entscheidende Aktivitäten und Abläufe ergeben sich oft erst spontan, beispielsweise durch das nähere Kennenlernen der oder des Klienten. Durch immer andere konkrete Sachverhalte, weichen viele Fälle von dem Regelfall ab. Dadurch ist es schwer, die allgemeinen Aufgaben für einen Fall zu konkretisieren. Durch starke äußere und innere Einflussfaktoren können sich Prozesse schnell und oft verändern.

Im Wesentlichen haben alle vier Befragten ein ähnliches Vorgehen geschildert (vgl. Fallmodell in Abb. 4). Bei allen begann der Arbeitsprozess mit einem ersten Gespräch, welches entweder nur mit den Professionellen (Jugendamt und GeBEG), den Professionellen und dem Klienten (alle Beteiligten) oder der GeBEG und dem Klienten stattfinden kann. In diesem ersten Gespräch sollen sich alle Beteiligten besser kennen lernen und die Familie entscheidet sich, ob sie eine Hilfe von dem Sozialarbeiter annehmen möchte oder nicht. Außerdem wird geklärt, worum es in der Hilfe gehen soll und die dazu passenden Ziele werden definiert. Außerdem erstellen zwei der vier Interviewten ein Genogramm beziehungsweise ein Soziogramm um eine bessere Übersicht über den Fall zu erhalten.

Im Verlauf der Hilfe finden Termine statt, die dokumentiert und abgerechnet werden müssen. Circa alle sechs Monate findet ein Hilfeplangespräch mit dem Jugendamt statt. Zwei Wochen vor diesem Hilfeplangespräch muss der Trägerbericht dem Jugendamt vorliegen. Bei dem Gespräch wird der vergangene Hilfezeitraum ausgewertet und ggf. Ziele für einen weiteren Zeitraum festgelegt. Alle Befragten haben auf Nachfrage angegeben, dass es sich formal um einen sechsmonatigen Zyklus von Hilfeplangespräch zu Hilfeplangespräch handelt. In den Interviews stellte sich heraus, dass es keinen richtigen Abschluss eines Falls gibt, solange die Hilfe andauert. Sie kann jedoch jederzeit durch den oder die Klienten oder die GeBEG abgebrochen werden.

Im Ergebnis (Abbildung 4) zeigt sich, dass viele unterstützende Aktivitäten modelliert wurden (Termin vereinbaren, Dokumentieren, Zeitabrechnung). Die Bereiche Anamnese, Diagnose, Intervention und Evaluation aus dem Modell nach Müller [MS09] findet man indirekt wieder. So lassen sich Elemente von Anamnese und Diagnose im 1. Gespräch identifizieren. Die Hilfeplangespräche enthalten mit Rückblick und Reflektion auch Evaluationsaspekte. Die Dokumentation externalisiert die Ergebnisse.

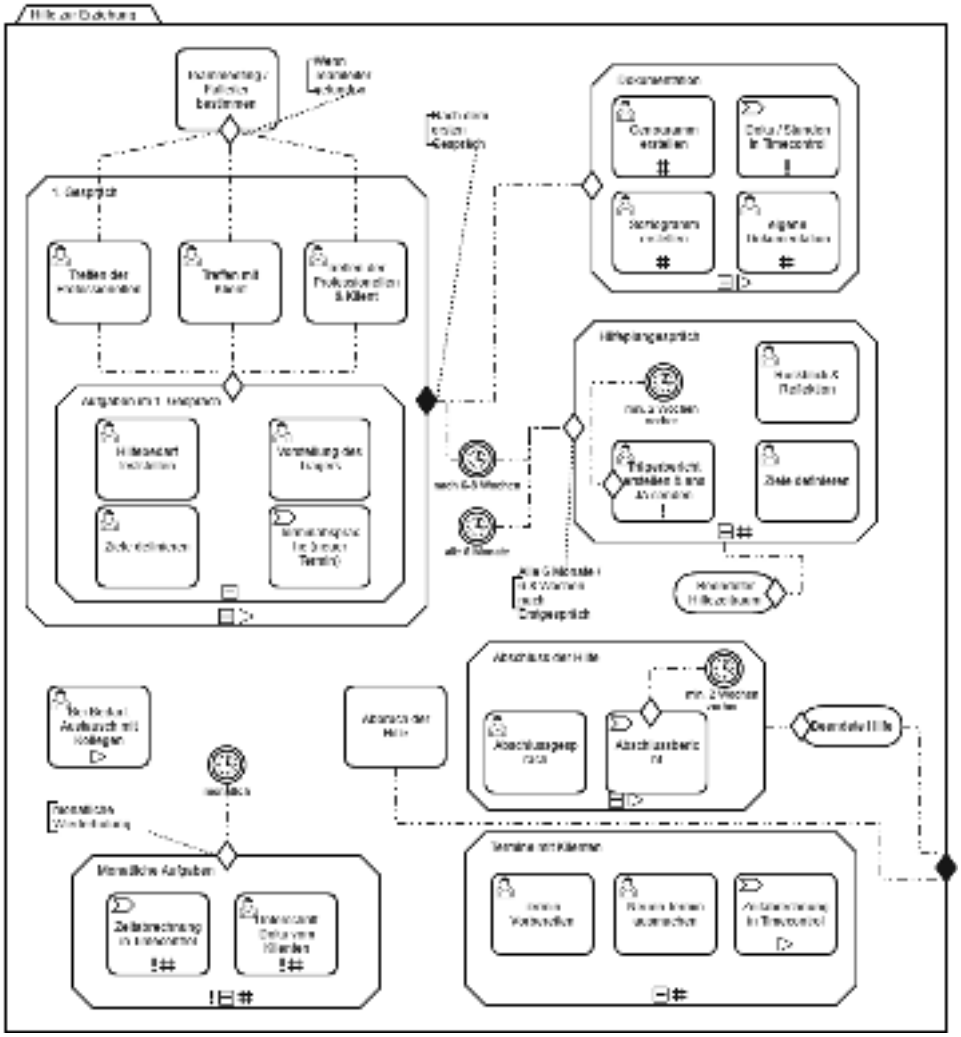


Abb. 4: Fallmodell „Hilfe zur Erziehung“ in CMMN

Die Intervention findet im Aufgabenpaket „Termine mit Klienten“ statt und ist dort jedoch nicht weiter spezifiziert. Es zeigt sich weiterhin, dass die *Fallarbeit* durch den *CM-Prozess* beeinflusst wird, in dem Dokumentationspflichten bestehen. Der *CM-Prozess* an sich spielt sich zwischen Organisationen ab und kann methodisch nicht durch eine einzelne Organisation erfasst werden. Gleichwohl wurde bei einer Vorstellung auf einem fachlichen Workshop bestätigt, dass das Fallmodell die *Fallarbeit* gut abbildet und eine IT-Unterstützung basierend auf diesem Modell wünschenswert wäre.

Schwierig erscheint die Definition der Fallziele. Diese sind domänenspezifisch. Die Befragten waren nicht in der Lage Meilensteine zu bestimmen. Weiterhin können sich die Ziele während der Fallbearbeitung ändern.

5 Fazit und Ausblick

Ein Ziel der Arbeit war es, die Möglichkeit und Machbarkeit von Adaptive Case Management (ACM) in sozialen Einrichtungen zu untersuchen. Auf Basis der grundlegenden Prinzipien von ACM in Kombination mit der Diskussion von Fallmanagement im sozialen Sektor konnte die Grundlegende Eignung gezeigt werden. Weiterhin zeigte sich in der durchgeführten Fallstudie, dass sich Prozesse im sozialen Bereich als Fallmodelle darstellen lassen. Es zeigt sich jedoch auch, dass nicht alle Prozesse bzw. Aufgaben hier geeignet sind, obwohl sie auch Kernaufgaben in der betrachteten Domäne sind.

Ein weiteres Ziel der Arbeit war die Bewertung und Weiterentwicklung der Methodik auf dem Gebiet des ACM. Hier wurden Methodenkomponenten zur Fallmodellierung entworfen und erfolgreich angewendet -zumindest mit Hinblick auf das resultierende Fallmodell. Rollen aus dem Modell nach Kurz und Herrmann konnten auch in der Fallstudie identifiziert werden. Weiterhin wurden jedoch auch Schwachstellen identifiziert, die Ansatzpunkte für weitere Arbeiten darstellen:

- Aufwändige Fallanpassung
- Komplexes Rollenmodell
- Fehlende Methodenkomponente zur Identifikation von Fällen

Im speziellen Kontext der sozialen Einrichtungen:

- Mangelnde Unterstützung der Definition und Kontrolle von Fallzielen
- Rollenmodell welches nicht ganz zu den Rollen des CM passt
- Fehlende Methodenkomponenten für inter-organisationelle Fallmodelle

Für die nähere Zukunft sind die Implementation eines Prozesssteuerungssystems und die Schaffung einer notwendigen Methodenunterstützung geplant. Dann kann validiert werden, ob die die avisierten Verbesserungen durch ACM nachweisbar sind.

Literaturverzeichnis

[Bri10] Brinkmann, V. : Case Management. Springer Fachmedien, Heildeberg, 2010.

[Bur11] Burns, E. V.: Case Management 101: 10 Things You Must Know About Case Management. In: Taming Unpredictable - Real World Adapt. Case Manag. Case Stud.

Pract. Guid., Seiten 17–25. Future Strategies Inc., 2011.

[Fis11] Fischer, L.: Taming the Excellence in Practice Series. Future Strategies Inc., 2011.

[GLS98] Goldkuhl, G.: Lind, M.: Seigerroth, U: Method integration: the need for a learning perspective. IEE Proceedings-Software, 145(4), S. 113-118, 1998.

[KS15] Kollak, I.; Schmidt, S.: Fallübungen Care und Case Management. Springer-Verlag, Heidelberg, 2015.

[KY14] Kostadinov, N.; Yordanov, L.: Adaptive Case Management - Papiertiger oder die Antwort auf BPM Herausforderungen. 2014.

[KH11] Kurz, M.; Herrmann, C.: Adaptive Case Management - Anwendung des Business Process Management 2.0-Konzepts auf wissensintensive schwach strukturierte Geschäftsprozesse. Dienstorientierte IT- Systeme für hochflexible Geschäftsprozesse, 2011.

[Kur11] Kurz, M.: BPM 2.0: Selbstorganisation im Geschäftsprozessmanagement. In: Dienstorientierte IT-Systeme für hochflexible Geschäftsprozesse, S. 193–216. University of Bamberg Press, 2011.

[LKR+05] Löcherbach, P. et al.: Case Management - Fall- und Systemsteuerung in der Sozialen Arbeit. Ernst Reinhardt Verlag München Basel, 2005.

[McC10] McCauley, D.: Achieving Agility. In: Mastering Unpredictable. How Adapt. Case Manag. Will Revolutionize W. That Knowl. Work. Get Things Done, S. 257–276. Meghan-Kiffer Press, 2010.

[MS09] Michel-Schwartze, B.: Methodenbuch Soziale Arbeit. VS Verlag für Sozialwissenschaften, 2. Aufl., 2009.

[MS10] Michel-Schwartze, B.: „Modernisierungen“ methodischen Handelns in der Sozialen Arbeit. VS Verlag für Sozialwissenschaften/GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden, 2010.

[Mül93] Müller, B.: Sozialpädagogisches Können : ein Lehrbuch zur multiperspektivischen Fallarbeit. Lambertus, 1993.

[Neu12] Neuffer, M.: Case Management - Soziale Arbeit mit Einzelnen und Familien. Beltz Juventa, 2012.

[Pal10] Palmer, N.: Introduction. In: Mastering Unpredictable. How Adapt. Case Manag. Will Revolutionize W. That Knowl. Work. Get Things Done, Seiten 1–5. Meghan-Kiffer Press, 2010.

[Pre15] Prenner, N.: Ein Werkzeug zur Erfassung von Geschäftsprozessen durch szenariobasierte Interviews. Doktorarbeit, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover, 2015.

[Tri15] Trinczek, B.: Informationssysteme im Gesundheitswesen. Medizinische Fakultät Münster, 2015.

[vR09] von Reibnitz, C.: Case Management: praktisch und effizient. Springer Medizin Verlag, 2009.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 829

Nutzung der Blockchain-Technologie in Geschäftsprozessen: Analyse am Beispiel des Zahlungsverkehrs

Marco Deubel[1], Jürgen Moormann[2] und Friedrich Holotiuk[3]

Abstract: Seit der Verbreitung von Bitcoin und der damit einhergehenden erstmaligen Nutzung der Blockchain-Technologie beschäftigt sich die Finanzbranche mit der Frage, welche Relevanz diese Technologie für ihre Geschäftsprozesse haben wird. Zwar wird Blockchain in Praxis und Wissenschaft als disruptiv eingeschätzt, allerdings bleiben die Konzepte bislang recht vage. Use Cases, Prototypen und erste Anwendungen in der Finanzbranche beschränken sich weitgehend auf private Blockchains und spezielle Anwendungsfelder. In diesem Beitrag untersuchen wir anhand einer Literaturanalyse und einer Delphi-Studie, ob Blockchain auch im Zahlungsverkehr von Banken einsetzbar ist. Dazu zählt insbesondere die Transaktionsart SEPA-Überweisung. Die entwickelten Vorschläge basieren auf in der Literatur genannten Annahmen zum Einsatz von Blockchain im Zahlungsverkehr, die durch die Delphi-Studie bestätigt oder widerlegt wurden. Es zeigt sich, dass die Technologie tatsächlich Möglichkeiten zur Nutzung in Geschäftsprozessen des Zahlungsverkehrs bietet. Allerdings müssen die heute noch bestehenden Limitationen der Blockchain-Technologie beachtet werden.

Keywords: Bank, Blockchain, Geschäftsprozess, Überweisung, Zahlungsverkehr

1 Einleitung

Die Blockchain-Technologie bietet vielfältige Möglichkeiten für neue Produkte und Geschäftsmodelle in der Finanzbranche, wie z.B. Bitcoin als dezentrale Währung [Na08] oder Ripple für den internationalen Zahlungsverkehr [RK16]. Aber auch in den Infrastrukturen und Geschäftsprozessen sind vielfältige Einsatzfelder für die Blockchain-Technologie vorhanden. Beispiele sind Import-/Exportfinanzierung, Wertpapieremission und die Abwicklung von Krediten. Die Anwendungen werden derzeit intensiv diskutiert.

In diesem Artikel soll untersucht werden, wie sich der Einsatz von Blockchain-Technologie auf die bestehenden Prozesse des bankbetrieblichen Zahlungsverkehrs (ZV) auswirken kann. Dabei soll der Fokus der Analyse bewusst auf den Instrumenten des Massen-ZVs liegen. Im Vordergrund steht die heute am meisten genutzte Transaktionsart

[1] DekaBank, Deutsche Girozentrale, IT-Systeme Adressrisiko, Hahnstraße 55, 60528 Frankfurt a.M., marco.deubel@deka.de
[2] Frankfurt School of Finance & Management, ProcessLab, Sonnemannstr. 9-11, 60314 Frankfurt a.M., j.moormann@fs.de
[3] Frankfurt School of Finance & Management, ProcessLab, Sonnemannstr. 9-11, 60314 Frankfurt a.M., f.holotiuk@fs.de

doi:10.18420/in2017_82

für digitale Zahlungen, die SEPA (Single Euro Payments Area)-Überweisung. Die forschungsleitende Frage lautet damit:

Wie können Prozesse des (Massen-)Zahlungsverkehrs unter Anwendung der Blockchain-Technologie gestaltet werden?

Der Beitrag ist wie folgt strukturiert: Zunächst werden die Eigenschaften der Blockchain-Technologie dargestellt. Anschließend werden Annahmen über mögliche Auswirkungen der Blockchain-Technologie auf Geschäftsprozesse im ZV entwickelt. Dies geschieht auf Basis der bisherigen Literatur. Die Annahmen werden dann anhand von Ergebnissen einer von uns durchgeführten Delphi-Studie evaluiert. Auf Basis der überprüften Annahmen wird untersucht, ob und wie die Blockchain-Technologie in Prozessen des Massen-ZVs eingesetzt werden kann. Im fünften Kapitel werden die Ergebnisse anhand eines konkreten Entwurfs diskutiert. Das sechste Kapitel enthält ein Fazit mit einem Ausblick auf zukünftige Forschungsrichtungen.

2 Blockchain-Technologie

Als Blockchain wird eine über mehrere Nodes (Knoten) verteilte Datenbank bezeichnet [Mi16], wobei jeder Node eine vollständige Kopie der gesamten Blockchain besitzt. Ein Node ist ein Computer, der am Netzwerk der Blockchain teilnimmt. Die Datenbank der Blockchain kann nur durch Hinzufügen von gesammelten, validen Transaktionen, den Blöcken, verändert werden [PR17]. Die Blöcke bilden eine Kette, wobei jeder Block auf den vorherigen referenziert und ihn validiert [HJ16].

Mit der Blockchain-Technologie ist es erstmals möglich, das „Double-Spending-Problem“ ohne eine zentrale Trusted Third Party in einem dezentralen Netzwerk mit mehreren untereinander bekannten oder unbekannten Teilnehmern zu lösen [Na08]. Als „Double-Spending-Problem“ wird die Problematik bezeichnet, dass Teilnehmer eines Netzwerks einen digitalen Geldbetrag an zwei oder mehr unterschiedliche Empfänger über ihren Verfügungsrahmen hinaus schicken. Die entscheidende Neuerung der Blockchain-Technologie, im Vergleich zu vorherigen technischen Möglichkeiten, ist es, Transaktionen, die heute über eine zentrale Instanz laufen müssen, dezentral abbilden zu können [CS16]. Bis zur Entwicklung von Bitcoin gab es kein elektronisches System, das Transaktionen ohne eine Trusted Third Party abbilden konnte [Na08, WF17]. Eine Trusted Third Party ist z.B. eine Bank, die die Kontostände der Teilnehmer an einem Netzwerk verwaltet und sicherstellt, dass Transaktionen korrekt abgerechnet werden und Teilnehmer nur die ihnen zur Verfügung stehende Menge an Geld überweisen können. Damit ist es nun möglich, Werte sowohl digital und dezentral abzubilden, die dennoch nicht kopierbar sind. Die Blockchain-Technologie ermöglicht auch das Übertragen dieser Werte an andere Teilnehmer des Netzwerks [MSZ16].

Es wird zwischen öffentlichen und privaten Blockchains unterschieden [PR17]. Bei öffentlichen Blockchains gibt es keine Zugangsbeschränkung, so dass jeder Interessent

teilnehmen kann. Das hat zur Folge, dass die Teilnehmer anonym oder zumindest pseudoanonymisiert auftreten. Dagegen ist der Zugang bei privaten Blockchains auf bestimmte Teilnehmer beschränkt. Diese sind daher i.d.R. bekannt und eindeutig identifizierbar [Mi16].

3 Annahmen über die Nutzung von Blockchain im Zahlungsverkehr

In der Literatur ist eine Vielzahl von Annahmen hinsichtlich der Verwendung von Blockchain-Technologie im Zahlungsverkehr zu finden. Nachfolgend sollen die fünf zentralen Annahmen erläutert werden.

3.1 Wegfall der Trusted Third Party

Grundsätzlich werden beim Einsatz der Blockchain-Technologie keine zentralen Institutionen benötigt, die Transaktionen auf ihre Gültigkeit hin prüfen. Dementsprechend werden keine oder zumindest weniger Intermediäre für die Ausführung von Zahlungen benötigt, wenn Blockchain zum Einsatz kommt [Mi16]. Dies ist besonders relevant bei grenzüberschreitenden Zahlungen. Diese Aussage wird von Guo und Liang [GL16] unterstützt, die betonen, dass durch Blockchain „Point-to-Point"-Zahlungen möglich werden. Auch hier wird von einer Ablösung der Intermediäre gesprochen, indem Banken durch die Blockchain-Technologie in die Lage versetzt werden, Transaktionen direkt abzuwickeln und die Abwicklung nicht über weitere Stellen (z.B. Korrespondenzbanken, SWIFT) laufen zu lassen. Die US-amerikanische Notenbank bestätigt diese Annahme und fügt hinzu, dass durch Blockchain-Technologie die einzelnen Prozessschritte bei einem internationalen Transfer verringert und direkte Beziehungen zwischen Instituten ermöglicht werden [Mi16].

Die Ansätze zur Dezentralisierung des Zahlungsverkehrs gehen so weit, dass Wright und de Filippi [WF17] von einem eigenen Konto für an das Internet angebundene Maschinen sprechen, z.B. ein autonomes Auto, das als Taxi dient. Dieses könnte ein eigenes Konto haben, sodass nach einer Fahrt das Geld direkt an das Auto gesendet werden könnte. Es wird aber auch darauf hingewiesen, dass technisch zwar eine komplette Dezentralisierung und das Abbauen von Trusted Third Parties möglich sind, dies in der Praxis jedoch nur schwer umzusetzen ist. Guo und Liang [GL16] weisen darauf hin, dass eine komplette technische Dezentralisierung in einigen Modellen funktioniert (z.B. bei Bitcoin), die Umsetzung kompletter Desintermediation allerdings eine vollständige Dezentralisierung benötigt. Ob dies in bestehenden Instituten des Finanzbereichs realisierbar wäre, ist fraglich. Dies wird außerdem durch regulatorische Anforderungen erschwert [GL16]. Aufgrund regulatorischer Anforderungen ist eine vollständige Dezentralisierung sehr anspruchsvoll und möglicherweise unmöglich [GL16]. Diese Ansicht wird von Pinna und Ruttenberg [PR17] geteilt, die anmerken, dass es immer Funktionen geben wird, die von

einer dritten Institution durchgeführt werden müssen. Als Beispiel nennen sie die Funktion eines Notars, der als unabhängige dritte Instanz die Geschäftstätigkeiten von zwei Parteien begleitet. Wahrscheinlich ist, dass sich die Rolle von Intermediären ändern, aber nicht komplett wegfallen wird [MSZ16]. Einigkeit besteht in der Literatur darin, dass durch den Wegfall von Trusted Third Parties Prozesse im ZV deutlich vereinfacht werden können.

3.2 Sinkende Transaktionskosten

Eine häufig genannte Annahme ist die Reduktion der Kosten für nationale und internationale Zahlungsverkehrstransaktionen [CS16, BRV15]. Dies wird auch durch die oben erwähnte Verringerung von Intermediären erreicht. Guo und Liang [GL16] zeigen, dass sich die Kosten durch den Einsatz von Blockchain-Technologie von 26 auf 15 Dollar pro internationale Transaktion verringern. Die Ersparnis von 11 Dollar setzt sich aus 8 Dollar durch den Wegfall von Intermediären und 3 Dollar durch Einsparungen für operative Kosten und Compliance zusammen. Von Kostensenkungen gehen auch Devai et al. [DBB16] aus, die Einsparpotenzial vor allem durch wegfallende Reconciliations sehen. Reconciliation ist ein Vorgang, der sicherstellt, dass beispielsweise der Geldabfluss von einem Konto auch dem tatsächlich ausgegebenen Betrag entspricht. Auch [MSZ16] erwarten Kosteneinsparungen im Back-Office aufgrund schlankerer Prozesse.

3.3 Kürzere Ausführungszeit

Es wird angenommen, dass durch Blockchain-Technologie die Zeitspannen für die Durchführung einer ZV-Transaktion deutlich verringert werden. Dies wird vor allem im grenzüberschreitenden ZV große Auswirkungen haben. Guo und Liang [GL16] sprechen von einer heute durchschnittlich benötigten Zeitspanne von zwei Tagen bei einer internationalen Transaktion. Dies ließe sich mit Hilfe der Blockchain-Technologie signifikant verbessern. So zeigen Tests, dass die zwei benötigten Tage für eine Transaktion auf etwa zehn Sekunden verkürzt werden konnten [GL16]. Ein weiteres Beispiel ist das Vorhaben der UBS, mit Hilfe von Blockchain den Letter of Credits, der bei Im- und Exporten zur Absicherung von Zahlungsausfällen dient, den Prozess von rund sieben Tagen auf eine Stunde zu verringern [GL16]. Auch Manning et al. [MSZ16] sprechen von einer Verkürzung der Transaktionsdauer von mehreren Tagen auf nahezu Echtzeit durch höhere Prozesseffizienz.

3.4 Größere Transparenz

Da eine Blockchain ein Transaktionsbuch („Ledger“) aus allen bisher durchgeführten Transaktionen darstellt, liegt eine hohe Transparenz über die getätigten Transaktionen vor. Lediglich die Zuordnung der natürlichen Personen zu ihren Adressen im Transaktionsbuch ist nicht ohne weiteres möglich. Die Transparenz kann zur Vereinfachung der Prozesse genutzt werden, da weniger Intermediäre notwendig sind [Mi16]. Auch de Meijer [Me16]

geht von einer Steigerung der Transparenz durch Blockchain-Technologie aus.

Im Finanzbereich ist die Transparenz aus Sicht von Compliance und Bankenaufsicht besonders interessant. Aufsichtsbehörden könnten die Funktion der Validierung von Transaktionen übernehmen [DBB16]. Mit einem direkten Zugang der Aufsichtsbehörden zum Transaktionsbuch müssen Transaktionen nicht mehr gemeldet werden, sondern können direkt von den Aufsichtsbehörden eingesehen werden. Dadurch, dass in einer privaten Blockchain-Lösung die Teilnehmer bekannt sind, könnten Rechtsverstöße einfacher den Teilnehmern zugeordnet und geahndet werden [PR17]. Möglich ist ein „consolidated audit trail" für Aufsichtsbehörden durch den Einsatz von Blockchain [MSZ16]. Dies wird durch das verteilte System der Blockchain ermöglicht, in dem alle Nodes die Informationen über alle getätigten Transaktionen haben [Yl16]. Aufgrund des zentralen Zugriffs auf Informationen im Ledger dient dieser als „single point of truth" [MSZ16].

Auf Prozesse des ZVs könnte sich diese Annahme so auswirken, dass die Aufsichtsbehörden bei Transaktionen nicht mehr von den Banken aktiv informiert und damit in Zahlungsverkehrsprozessen nicht mehr berücksichtigt werden müssen. Die Informationen über Transkationen können von den Aufsichtsbehörden selbstständig aus der Transaktionshistorie entnommen werden.

3.5 Höhere Sicherheit

Die Annahme einer höheren Sicherheit beruht auf zwei Aspekten. Erstens kann durch Blockchain das Risiko des Zahlungsausfalls einer der beteiligten Parteien („counterparty risk") minimiert werden, da die Zahlungen annähernd in Echtzeit durchgeführt werden [RK16]. Daher sind im Blockchain-basierten ZV Prozessschritte zur Verhinderung von Zahlungsausfällen nicht mehr notwendig oder können vereinfacht werden. Auch das Risikomanagement kann aufgrund der generell höheren Transparenz und des größeren Informationsgehalts verbessert werden [MSZ16]. Zweitens weist die Blockchain-Technologie eine höhere Widerstandsfähigkeit gegenüber Ausfällen auf. Durch die Verteilung entsteht eine redundante „Datenbank", die weiterhin funktionsfähig ist, auch wenn ein einzelner Node ausfällt [MSZ16]. Außerdem ist durch die Blockchain-Technologie sichergestellt, dass ein Angreifer, der sich erfolgreich Zugang zu den Systemen einer Bank verschafft, die Einträge im Ledger nicht ändern kann [MSZ16].

4 Überprüfung der Annahmen über die Nutzung von Blockchain im Zahlungsverkehr

Im Folgenden geht es darum, die im vorherigen Kapitel aus der Literatur ermittelten Annahmen zu überprüfen. Dies erfolgt mithilfe der Ergebnisse einer von uns 2016 durchgeführten Delphi-Studie, die sich mit der Blockchain-Technologie und deren Auswirkungen auf den ZV beschäftigt [HPM17]. In dieser Studie sind 45 Experten aus dem ZV-Bereich zum Thema Blockchain befragt worden. Im Vordergrund stand dabei ein strukturierter Kommunikationsprozess basierend auf drei Runden [LT75]. In der ersten Runde wurden die Meinungen der Experten abgefragt. In den Runden 2 und 3 haben die Experten die Statements bewertet. Die Bewertung der Statements wurde anschließend anhand von Konsenskriterien analysiert [Gr12]. Für die Forschungsfrage in diesem Artikel haben wir alle Statements der Experten mit Relevanz für ZV-Prozesse identifiziert und für die weitere Analyse verwendet. Die Aussagen der Experten wurden dann qualitativ mit den Aussagen aus der Literatur abgeglichen.

Bei der Überprüfung ging es darum zu untersuchen, inwiefern sich die Einschätzungen der Experten mit den Annahmen aus der Literatur decken, ob sie auseinandergehen oder sich möglicherweise widersprechen. Eine Bestätigung von Annahmen aus Expertensicht dürfte darauf hindeuten, dass diese Annahmen mit hoher Wahrscheinlichkeit zutreffen.

4.1 Wegfall der Trusted Third Part

Die in der Literatur genannte Annahme, dass Trusted Third Parties durch die Blockchain-Technologie unnötig werden könnten, wird von den Ergebnissen der Delphi-Studie gestützt. Dabei wird ebenso wie in der Literatur die Möglichkeit angesprochen, dass Transaktionen auch von Maschinen, wie z.B. Autos oder Fertigungsanlagen, ausgelöst werden können. Auch die Möglichkeit, dass „peer-to-peer“-Transaktionen durch Blockchain möglich sind, erwähnen die Delphi-Experten. Die erste Annahme wird damit im Wesentlichen von den Ergebnissen der Delphi-Studie bestätigt.

Auch die möglichen Einschränkungen hinsichtlich der ersten Annahme werden von den Ergebnissen der Delphi-Studie widergespiegelt. Die mögliche Änderung der Rolle von Intermediären, wie von Manning et al. [MSZ16] erwähnt, wird in der Studie mehrfach genannt. Dazu zählt die Aussage, dass traditionelle Einnahmequellen im ZV-Bereich wegfallen und durch andere ersetzt werden [HPM17]. Eine weitere Aussage ist, dass durch Blockchain weitere Produkte und Geschäftsmodelle im Zahlungsverkehr entstehen. Auch erwähnen die Experten, dass Anbieter von Serviceleistungen im ZV neue Dienste auf Blockchain-Technologie aufbauen können. Damit wird die Annahme, dass sich die Rolle von Serviceanbietern ändert statt komplett wegzufallen [HPM17], ebenfalls von den Ergebnissen der Delphi-Studie unterstützt.

4.2 Sinkende Transaktionskosten

Die Annahme, dass ZV-Transaktionen aufgrund der Blockchain-Technologie günstiger werden, wird durch die Ergebnisse der Delphi-Studie bestätigt. Aus den Statements geht hervor, dass insbesondere internationale Transaktionen (Auslandsüberweisung) kostengünstiger durchgeführt werden können [HPM17]. So werden für internationale Transaktionen (über den SEPA-Raum hinaus) derzeit von Intermediären hohe Gebühren erhoben [HPM17]. Es wird aber auch auf die derzeitige Zahlungsinfrastruktur mit SEPA und SWIFT verwiesen, die aufgrund vieler manueller Schritte hohe Kosten verursache und ineffizient sei. Durch Nutzung von Blockchain können internationale Transaktionen mit weniger oder keinen Intermediären durchgeführt und dadurch Kosten gespart werden.

In den Statements spiegelt sich neben der Erwartung sinkender Gebühren auch die Erwartung von Einsparungen in anderen Bereichen wider, wie etwa bei IT- oder administrativen Kosten. Die Delphi-Experten kommen, ähnlich wie Mills et al. [Mi16], zu dem Ergebnis, dass sich die Gebühren für Endkunden durch Blockchain verringern werden. Dies bedeutet auch, dass durch Blockchain-Technologie Margen im Zahlungsverkehr sinken werden und das Geschäftsfeld unprofitabel werden könnte.

4.3 Kürzere Ausführungszeit

Die Ergebnisse der Delphi-Studie thematisieren auch die Geschwindigkeit von Transaktionen. So erwarten die Experten, dass Transaktionen – vor allem in Bezug auf internationale ZV-Transaktionen – durch Blockchain-Technologie schneller ausgeführt werden. Diese Aussage stärkt die entsprechende Annahme in der Literatur. Die Abwicklung von Transaktionen ist danach in wenigen Sekunden möglich [GL16]. Die Experten begründen die Zeiteinsparung mit dem Wegfall von Intermediären bei grenzüberschreitenden Transaktionen und einer schlankeren Prozessgestaltung.

Auch die Annahme von Pinna und Ruttenberg [PR17], mithilfe der Blockchain-Technologie ZV-Transaktionen 24/7 durchzuführen, wird gestützt. Die klare Aussage der Experten ist, dass Blockchain-Technologie diese Funktionalität ermöglichen muss. Auch erwarten die Experten, dass die neue Technologie eine geringe Latenz ermöglicht und Transaktionen unmittelbar vom Netzwerk akzeptiert werden.

4.4 Größere Transparenz

Laut Literatur soll die Blockchain-Technologie eine höhere Transparenz gegenüber den internen Compliance-Einheiten und den nationalen und internationalen Aufsichtsbehörden ermöglichen. Durch eine direkte Anbindung dieser Teilnehmer verfügen diese über die Möglichkeit, Transaktionen unmittelbar nachzuvollziehen.

In unserer Delphi-Studie kommt zum Ausdruck, dass die aktuellen aufsichtsrechtlichen Vorschriften noch nicht für die Blockchain-Technologie ausgelegt sind. Die Experten erwähnen zudem, dass mögliche gesetzliche und regulatorische Risiken geklärt werden müssen, um die Blockchain-Technologie einsetzen zu können. Allerdings wird auch die Befürchtung geäußert, dass eine zu starke Regulierung innovative Technologien wie Blockchain in ihrer Entwicklung ausbremsen könnte. Grundsätzlich wird in der Literatur die Blockchain-Technologie aber nicht als Chance für Aufsichtsbehörden gesehen, sondern als Risiko, mit dem sich Aufsichtsbehörden auseinandersetzen müssen.

In der Delphi-Studie wird auch die Annahme vertreten, dass aufgrund der Blockchain-Technologie die Relevanz von externen und internen Audits sinkt. Diese können durch eine direkte Anbindung von Aufsichtsbehörden und des internen Compliance an die Blockchain realisiert werden. Die These, dass eine größere Transparenz durch Anbindung von Aufsichtsbehörden und interner Compliance entsteht, wird damit durch die Ergebnisse der Delphi-Studie gestützt.

4.5 Höhere Sicherheit

In der Literatur ist die Annahme zu finden, dass durch Blockchain-Technologie die Sicherheit von Transaktionen erhöht wird. Dabei wird zwischen der technischen Sicherheit von Software und Hardware und der Sicherheit im ZV hinsichtlich möglicher Zahlungsausfälle differenziert.

In der Delphi-Studie gehen die Probanden davon aus, dass die technischen Risiken in Bezug auf z.B. Hacking und Manipulation vergleichsweise hoch sind und damit wesentliche Sicherheitsrisiken existieren. Diese Aussagen widersprechen zum Teil den Annahmen der Literatur. Beispielsweise sehen Manning et al. [MSZ16] die Blockchain-Technologie als sicherer als bisherige Technologien an und gehen deshalb davon aus, dass die technische Sicherheit durch Blockchain-Technologie steigt. Diese technischen Fragen müssen jedoch noch tiefergehend untersucht werden.

Von den Experten wird die Meinung vertreten, dass die Blockchain-Technologie keinen negativen, aber auch keinen positiven Einfluss auf die Sicherheit von Systemen haben wird. Auf den Vorteil der Ausfallsicherheit durch das Speichern des gesamten Ledgers auf verteilten Nodes wird von den Experten nicht eingegangen.

5 Diskussion und weitere Überlegungen zu Prozessänderungen

Bei den meisten Annahmen stimmen die Ergebnisse der Delphi-Studie und die Literatur überein. Der wesentliche Konsens liegt bei den Annahmen, dass Trusted Third Parties und Intermediäre wegfallen bzw. sich deren Rolle zumindest ändert, dass Transaktionen deutlich kostengünstiger als bisher werden, diese Kostenersparnis als Preisnachlass an die Endkunden weitergegeben wird und dass Transaktionen annähernd in Echtzeit

abgewickelt werden. Die Annahmen hinsichtlich größerer Transparenz und höherer Sicherheit durch Blockchain wurden von den Ergebnissen der Delphi-Studie nicht oder nur teilweise bestätigt. Über die Literatur hinausgehend lieferten die Experten Hinweise darauf, dass die Blockchain-Technologie Micro- und Nano-Payments ermöglicht und Informationen in der Transaktion selbst übertragen werden können (Smart Contracts).

Basierend auf den in den vorherigen Kapiteln untersuchten Annahmen soll nun die Umsetzung anhand von Prozessen aus dem Zahlungsverkehr am Beispiel einer SEPA-Überweisung untersucht werden. SEPA bezeichnet den einheitlichen europaweiten Zahlungsraum für Transaktionen in Euro. Mithilfe von SEPA-Überweisungen können sowohl Inlandsüberweisungen als auch internationale Überweisungen innerhalb der EU durchgeführt werden. Abbildung 1 zeigt den Prozess in vereinfachter Form.

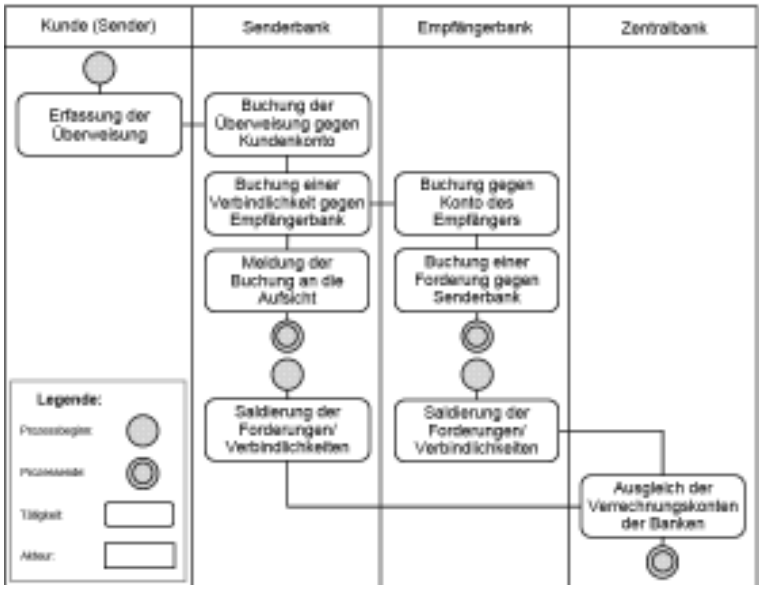


Abb. 1: Prozess einer traditionellen Überweisung (vereinfacht)

In der klassischen, nicht Blockchain-gestützten Form muss der Kunde zunächst die Überweisung erfassen (Überweisungsträger, Papier/digital). Im nächsten Schritt bucht die Senderbank der Überweisung den Betrag gegen das Konto des Kunden. Dies kann nur erfolgen, wenn der Kunde seinen Verfügungsrahmen noch nicht ausgeschöpft hat. Anschließend erfolgt die Buchung einer Verbindlichkeit der Senderbank gegenüber der Bank des Empfängers. Daraufhin wird die Buchung der Bankenaufsicht gemeldet. Im nächsten Schritt wird die Buchung von der Empfängerbank gegen das Konto des Kunden (Gutschrift) gebucht. Daraufhin wird eine Forderung von der Empfängerbank gegenüber der Senderbank (Belastung) gebucht. Die letzten Schritte sind das Clearing der Buchungen, das einmal pro Tag geschieht. Die Forderungen und Verbindlichkeiten beider Banken werden saldiert und der Saldo über Verrechnungskonten bei den Zentralbanken

oder das Clearingsystem TARGET2 (Trans-European Automated Real-time Gross Settlement Express Transfer System) ausgeglichen.Für den Einsatz von Blockchain ergeben sich verschiedene Möglichkeiten. So wäre eine Möglichkeit, dass Banken eine gemeinsame private Blockchain betreiben, in der sie über nur ein Abrechnungskonto pro Bank verfügen. Dieses Konto beinhaltet das Kapital der Bank, das sonst von einer dritten Institution, wie z.B. einer Zentralbank, verwaltet wird. Dieses Szenario ist in der Abbildung 2 dargestellt. Die größte Änderung ist der Wegfall des Clearings zwischen den Banken. Dieses muss nicht mehr durchgeführt werden, da es durch die Blockchain-Technologie bereits in Echtzeit stattfindet. Die Senderbank müsste die Überweisung aber immer noch erfassen und im eigenen System buchen. Das Konto des Endkunden wäre in diesem Szenario technisch weiterhin ohne Blockchain-Technologie abgebildet. Die Bank müsste demnach intern das Konto des Kunden belasten und die Überweisung buchen. Gegenüber der Empfängerbank gibt es nun zwei Möglichkeiten, wie der Prozess umgesetzt werden könnte. Abbildung 2 zeigt ein Szenario, in dem die Transaktion unmittelbar in der Blockchain gebucht wird. Es wird in einer Transaktion auf der Blockchain das Konto der Senderbank belastet und das Geld dem Konto der Empfängerbank gutgeschrieben. Durch die Blockchain-Technologie ist sichergestellt, dass die Transaktion sofort durchgeführt wird und die Senderbank das Verfügungsrecht über das Geld erhält. Die Transaktion beinhaltet in diesem Szenario die Information, welcher Kunde der Empfängerbank den Überweisungsbetrag erhalten soll. Die Bankenaufsicht könnte durch einen Zugriff auf die Blockchain direkt einsehen, welche Transaktionen durchgeführt werden. Eine zusätzliche Meldung würde entfallen.

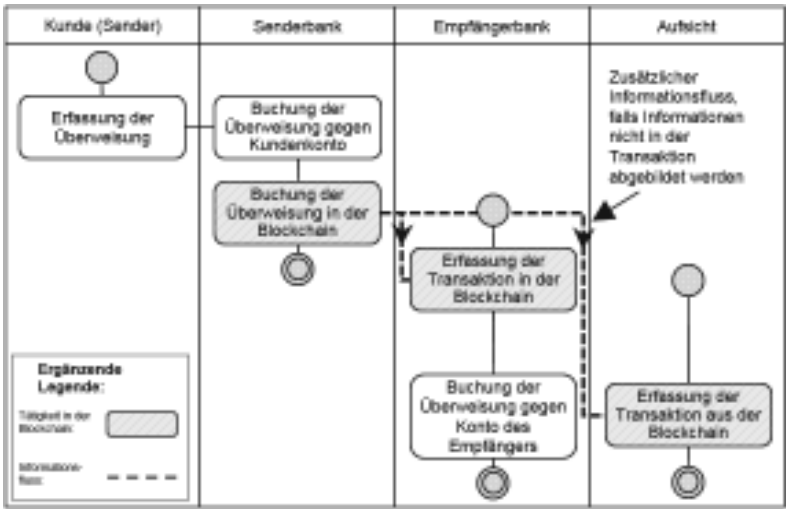


Abb. 2: Prozess einer Blockchain-basierten Überweisung (Szenario 1)

Eine andere Möglichkeit wäre, die Überweisung gebündelt am Ende des Tages mit allen anderen Transaktionen zu übertragen. Dann würde das Clearing durch eine Lösung auf Basis von Blockchain ersetzt werden. Die Information über die Transaktion mit dem

Empfänger und die Höhe des Überweisungsbetrags müsste weiterhin separat übertragen werden (gestrichelte Linie in der Abbildung 2). Auch müsste die Aufsicht in diesem Fall über die Transaktion separat informiert werden.

Die Implementierung der Blockchain-Technologie könnte auch auf der Ebene des Kontos jedes Kunden einer Bank erfolgen (Abbildung 3). In diesem Szenario würde eine private Blockchain zwischen den Banken betrieben werden, in der jeder Kunde ein eigenes Konto in der Blockchain besitzt. Im Fall einer Überweisung würde diese nach Erfassen im System der Senderbank als Transaktion in die Blockchain geschrieben werden. Für den Kunden würde sich nichts ändern, da er weiterhin auf seine Konten mittels der üblichen Benutzerschnittstellen seiner Bank zugreift. Es handelt sich um die technische Abbildung der Konten auf Basis von Blockchain. Nachdem die Transaktion von der Senderbank in die Blockchain geschrieben und die Transaktion von der Blockchain akzeptiert wurde, ist der Prozess der Überweisung aus Sicht der Senderbank bereits beendet. Die Blockchain-Technologie stellt dabei sicher, dass der Überweisungsbetrag nicht über dem Verfügungsrahmen des Kunden liegt. Die Blockchain sorgt selbstständig dafür, dass das Konto des Empfängers den Überweisungsbetrag erhält. Dies geschieht in Echtzeit, sodass die Empfängerbank und der Empfänger sofort über den Geldeingang informiert werden. Die Information über die Überweisung an die Bankenaufsicht entfällt ebenfalls, da diese direkt an der Blockchain teilnimmt. Ein Clearing ist in diesem Szenario ist nicht mehr notwendig, weil die Überweisung mit Hilfe der Blockchain direkt ausgeführt wird.



Abb. 3: Prozess einer Blockchain-basierten Überweisung (Szenario 2)

Festzuhalten ist, dass durch die Blockchain-Technologie eine Vereinfachung des Prozesses erreicht wird. Dies ist vor allem im zweiten Szenario der Fall. Darüber hinaus wird eine Unabhängigkeit von anderen Teilnehmern des ZVs geschaffen. Diese Unabhängigkeit existiert sowohl auf prozessualer Ebene, da in diesem Szenario die Senderbank nur noch gegen die Blockchain bucht und keine Interaktion mit der Empfängerbank entsteht, als auch auf technischer Ebene. Wenn die Systeme einer Bank nicht zur Verfügung stehen, kann die Transaktion aus Sicht der Senderbank dennoch durchgeführt werden. Durch die Nutzung von Blockchain kann der Prozess beschleunigt werden, da der Empfänger nach der Transaktion unmittelbar auf das Geld zugreifen kann.

Die Blockchain-Technologie kann bei einer Implementierung auf Ebene der

Kundenkonten dazu führen, dass ein Wechsel der Bank für den Kunden einfacher wird. Die Bank verwaltet ein Kundenkonto dann nur noch als Schnittstelle zwischen Kunde und Blockchain. Die Bank hat die Möglichkeit, auf die private Blockchain zuzugreifen und ZV-Transaktionen entsprechend der Wünsche des Kunden in der Blockchain zu buchen. Bei einem Wechsel müsste die neue Bank nur die Verwaltung des Kundenkontos in der Blockchain übernehmen. Da sich die Adresse des Kontos in der Blockchain nicht ändert, bleiben Lastschriftmandate und Daueraufträge bei einem Bankwechsel unverändert gültig, wenn sich diese nur auf die Adresse in der Blockchain beziehen.

Die Aspekte der ersten Annahme, dass Intermediäre wegfallen, zeigen sich deutlich bei den oben dargestellten Prozessabläufen. Aufgrund der Vereinfachung durch Blockchain muss die Überweisung nicht mehr über einen Intermediär laufen, sodass im Prozess mindestens ein Verarbeitungsschritt, bei Prozessen mit mehreren Intermediären mehrere Verarbeitungsschritte, entfallen. Auch wenn sich die Rolle von Intermediären nur ändert und letztere damit nicht wegfallen würden, ist davon auszugehen, dass sich die Anzahl an Intermediären, die für eine Transaktion benötigt werden, deutlich verringert. Dies ist gut am Beispiel von Ripple zu erkennen. Ripple ist ein Anbieter, der internationale Zahlungen als Service auf Basis einer Blockchain anbietet. Den Zahlungsprozess über Ripple abzubilden bedeutet, nur noch Ripple als alleinigen Intermediär zu nutzen.

Gegen einen kompletten Wegfall von Intermediären spricht die These von Manning et al. [MSZ16], dass eine komplette Disintermediation unwahrscheinlich sei. Aber es besteht die Möglichkeit, dass ZV-Prozesse aufgrund der Verringerung von Intermediären und der Automatisierung von Prozessschritten deutlich vereinfacht werden.

Die Annahme, dass Blockchain-Technologie eine höhere Transparenz ermöglicht, basiert darauf, dass Aufsichtsbehörden und Compliance-Einheiten direkt an der Blockchain teilnehmen können. Das führt dazu, dass Prozesse, die der Meldung von Ereignissen an die Aufsichtsbehörden und an Compliance dienen, wegfallen. Die Informationen müssen nicht mehr aktiv geliefert, sondern können aus der Blockchain gelesen werden.

Aufgrund der Eigenschaft der Blockchain-Technologie, Transaktionen unmittelbar auszuführen und für alle Teilnehmer abrufbar zu machen, werden Prozessschritte zur Ankündigung von Transaktionen überflüssig. Da die Transaktionen unmittelbar durchgeführt werden, entfällt auch das Counter-Party-Risiko. Dementsprechend sind keine Prozessschritte zur Absicherung möglicher Zahlungsausfälle mehr erforderlich.

Die Blockchain-Technologie ermöglicht eine Reduktion der Ausführungszeit von ZV-Transaktionen von mehreren Tagen auf nahezu Echtzeit. Darüber hinaus können Services, die von Geschäftszeiten abhängig sind, durch Blockchain-Technologie jederzeit durchgeführt werden. Dies verringert Wartezeiten und ermöglicht die schnellere, direkte Durchführung von Prozessen im ZV.

Die Annahme aus der Literatur, dass die Kosten einer Transaktion durch Blockchain-Technologie deutlich verringert werden, wurde von den Teilnehmern der Delphi-Studie bestätigt. Einsparungspotenziale werden nicht nur aufgrund des Wegfalls von

Intermediären und geringerer Ausführungszeiten erwartet, sondern auch aufgrund schlankerer IT-Prozesse.

6 Fazit

Die Literatur sowie die Experten unserer Delphi-Befragung gehen davon aus, dass mithilfe der Blockchain-Technologie die Prozesse im Zahlungsverkehr kostengünstiger, schneller, unkomplizierter und sicherer durchgeführt werden können. Unsere Forschung zeigt, dass sich die Annahmen aus Theorie und Praxis weitgehend denken. Die zu erwartenden Wettbewerbsvorteile dürften für die im ZV tätigen Unternehmen Anreiz sein, die Investitionen in die Blockchain-Technologie voranzutreiben.

Im nächsten Schritt sind prototypische Anwendungen der Blockchain im ZV wünschenswert. Mit Hilfe von weiteren Forschungsarbeiten zur Blockchain-Technologie im ZV könnte die Anwendung von Smart Contracts (insbesondere die Frage, inwiefern sich mit diesen Softwarefragmenten Tätigkeiten automatisieren lassen) untersucht werden. Auch die Verbindung zu der immer wichtiger werdenden Robotic Process Automation wäre zu analysieren.

Zu berücksichtigen ist allerdings auch, dass noch viele technische Fragen offen sind. So gibt es bis heute keinen Standard für Blockchain-Protokolle. Die Durchsetzung der Technologie erfordert aber einen solchen (weltweiten) Standard. Blöcke können bis heute nicht gelöscht werden. Dadurch werden die Chains immer größer – mit entsprechenden Folgen für Speicherung und Verarbeitung der Datenmengen. Zum heutigen Zeitpunkt reichen die Rechenkapazitäten für den Massen-ZV nicht aus. Des Weiteren müssen bei dezentralen Technologien wie Blockchain Verfahren gefunden werden, die es ermöglichen, dass sich alle Teilnehmer der Blockchain ohne Eingriff einer zentralen Instanz auf einen validen Stand des Transaktionsbuchs einigen. Dieser Mechanismus heißt „Consensus Mechanism“ und basiert bei derzeitigen Implementierungen der Blockchain-Technologie, wie z.B. Bitcoin, auf dem Nachweis von Arbeit in Form von Rechenleistung. Dieses Verfahren verbraucht extrem viel Energie und ist für eine wirtschaftliche Nutzung der Technologie nicht geeignet. Hier müssen andere Verfahren entwickelt werden. Andererseits ist die Blockchain-Technologie noch jung und daher naturgemäß „Work in Progress“. Die Weiterentwicklung dürfte in großen Sprüngen erfolgen.

Wir hoffen, dass die Analyse der Annahmen zum Einsatz von Blockchain in Geschäftsprozessen sowohl im theoretischen Kontext als auch mit empirischen Daten zur Diskussion auf dem Workshop beiträgt.

Literaturverzeichnis

[BRV15] Belinky, M.; Rennick, E.; Veitch, A.: The Fintech 2.0 Paper: rebooting financial services, Oliver Wyman, Anthemis Group and Santander Innoventures, 2015.

[CS16] Collomb, A.; Sok, K.: Blockchain / Distributed Ledger Technology (DLT): What Impact on the Financial Sector? Digiworld Economic Journal 103, S. 93–111, 2016.

[Me16] de Meijer, C.R.W.: The UK and Blockchain technology: A balanced approach. Journal of Payments Strategy & Systems 4/9, S. 220–229, 2016.

[DBB16] Devai, R.; Bidon, F.; Bramat, O.: The Funds Chain. Distributed Ledger Technology for the Asset Management Industry, White Paper, 2016.

[GL16] Guo, Y.; Liang, C.: Blockchain application and outlook in the banking industry. Financial Innovation 1/2, S. 1–12, 2016.

[HJ16] Heudecker, N.; Judah, S.: Experiment With Blockchains for Data Management Innovation, Gartner, Inc., 2016.

[HPM17] Holotiuk, F.; Pisani, F.; Moormann, J.: The Impact of Blockchain Technology on Business Models in the Payments Industry. AISeL, S. 912–926, 2017.

[LT75] Linstone, H. A.; Turoff, M.: Delphi Method: Techniques and Applications. Addison-Wesley, Boston, 1975.

[MSZ16] Manning, M.; Sutton, M.; Zhu, J.: Distributed ledger technology in securities clearing and settlement: Some issues. JASSA The Finsia Journal of Applied Finance 3/2016, S. 30–36, 2016.

[Mi16] Mills, D. et al.: Distributed Ledger Technology in Payments, Clearing, and Settlement. Finance and Economics Discussion Series 2016-095, Federal Reserve Board, Washington, DC, 2016.

[Na08] Nakamoto, S.: Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System, 2008.

[PR17] Pinna, A.; Ruttenberg, W.: Distributed Ledger Technologies in Securities Post-Trading. Revolution or evolution? ECB Occasional Paper 172, 2016.

[RK16] Rosner, M. T.; Kang, A.: Understanding and Regulating Twenty-First Century Payment Systems: The Ripple Case Study. Michigan Law Review 114, S. 649–681, 2016.

[Gr12] von der Gracht, H.A.: Consensus measurement in Delphi studies. Review and implications for future quality assurance. Technological Forecasting and Social Change 8/79, S. 1525–1536, 2012.

[WF17] Wright, A.; de Filippi, P.: Decentralized Blockchain Technology and the Rise of Lex Cryptographia. SSRN Electronic Journal, 2015.

[Yl16] Yli-Huumo, J. et al.: Where Is Current Research on Blockchain Technology? A Systematic Review. PLoS ONE 10/11, 1-27, 2016.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 843

Musterbasierte Fragenchecklisten zur Ableitung von Anforderungen aus modellierten Geschäftsprozessen

Bernhard M. Turban[1] und Johannes Schmitz-Lenders[2]

Abstract: Bei der Umsetzung geplanter Geschäftsprozesse auf IT-Systeme (IT-Alignment) kommt der Anforderungserhebung eine zentrale Bedeutung zu. Dabei ist das Erfahrungswissen der Anforderungsingenieure, die entscheidenden Fragen zur möglichst frühzeitigen Aufdeckung noch unbekannter Anforderungen zu stellen, sehr entscheidend. Dieser Artikel stellt eine Möglichkeit vor, wie diese Art von Erfahrungswissen bzgl. der Ableitung von Anforderungen aus modellierten Geschäftsprozessen in Form einer musterbasierten Fragencheckliste aufgezeichnet und unerfahreneren Anforderungsingenieuren als Hilfsmittel zur Aufdeckung von Anforderungen bereitgestellt werden kann.

Keywords: BPMN, Geschäftsprozessmodellierung, Fragenkatalog, Checkliste, Muster, Pattern, Anforderungserhebung, Requirement Elicitation, IT Business Alignment

1 Einleitung

Beim Entwurf neuer Geschäftsprozesse (GPs) oder der Umgestaltung vorhandener GPs müssen zumeist IT-Systeme angepasst werden. Bei der Umsetzung der einzelnen Aufgaben eines GPs ist es wichtig, möglichst alle Anforderungen für alle beteiligten IT-Systeme aufzudecken. Diese Tätigkeit stellt sich i.d.R. als sehr komplex heraus, deren Ausgang oft sehr stark vom jeweiligen Erfahrungswissen der beteiligten Anforderungsingenieure abhängt.

Geschäftsprozesse werden oft in einer Modellierungssprache wie BPMN [OMG11] als GP-Modell modelliert. Dieser Artikel zeigt, wie Erkenntnisse der Mustertheorie genutzt werden können, um Erfahrungswissen von Anforderungsingenieuren bzgl. der Transformation von GP-Modellen in Anforderungen an IT-Systeme in einer *musterbasierten Fragencheckliste* festzuhalten, die es ermöglicht, das Erfahrungswissen an weniger erfahrene Anforderungsingenieure weiterzugeben, um deren Effektivität zu verbessern.

In Kap.2 werden zunächst die Grundideen hinter dem vorgeschlagenen Ansatz genauer erläutert. Kap.3 schildert den Ansatz, indem zunächst der allgemeine Aufbau einer solchen *musterbasierten Fragencheckliste* erklärt und anschließend ein Auszug aus einer nach diesem Prinzip erarbeiteten *musterbasierten Fragencheckliste* präsentiert wird. Kap. 4 fasst dann die Möglichkeiten und Potentiale des Ansatzes zusammen.

[1] Hochschule RheinMain, DCSM WI, Unter den Eichen 5, 65195 Wiesbaden, bernhard.turban@hs-rm.de
[2] parcs IT-Consulting GmbH, Spandauer Str. 32, 57072 Siegen, jsl@parcs.de

doi:10.18420/in2017_83

2 Die Grundideen hinter dem hier beschriebenen Ansatz

Im Gegensatz zu der automatisierten Umsetzung von modellierten GPs über Workflow-Engines existieren zu dem oben beschriebenen Szenario einer manuellen Transformation von GP-Modellen in Anforderungen wenige Hinweise in der Literatur, wie hier vorgegangen werden soll[3]. Vielmehr entscheidet hier die Erfahrung der beteiligten Anforderungsingenieure, wie hier ein nahtloser Übergang zu den Anforderungen für die einzelnen IT-Systeme erreicht werden kann. Hierzu ist zu erwähnen, dass es zu diesem Problem keine einfache, allgemeine Lösungsbeschreibung geben kann, da es sich um einen komplexen, diffus-situations- und erfahrungsabhängigen Prozess handelt.

Die Mustertheorie[4] (Patterns) bietet einen alternativen Ansatz, derart komplexe, erfahrungsabhängige Probleme zu adressieren. Neben den Software Design Patterns (vgl. z.B. [Ga95]) haben sich auch Anforderungs- [Wi07] und Analysemuster [Fo97] etabliert. Muster versuchen, komplexe wiederkehrende Situationen so zu beschreiben, dass sie bei ähnlichen Aufgabenstellungen einfach angewendet werden können. Muster kodieren somit Erfahrungs- bzw. Expertenwissen [Mo04; S.139], [Tu13; S.101], das auf diese Art leichter an unerfahrenere Personen weitergegeben werden kann[5], und Experten können Muster nutzen, um leichter Ideen auszutauschen [PU99], [Tu13; S.101]. Genau dieser Effekt wird sich bei dem hier vorgestellten Ansatz zu Nutze gemacht.

Bei der Anforderungsermittlung besteht ein erfolgskritischer Aspekt darin, frühzeitig möglichst alle relevanten Anforderungen aufzudecken bzw. möglichst wenige Anforderungen zu übersehen. Hierbei hilft eine systematische Suche, weshalb in der Literatur z.B. empfohlen wird, Anforderungen mittels Checklisten systematisch zu ermitteln[6].

Im folgenden Kapitel wird gezeigt, wie die hier erarbeiteten Überlegungen genutzt werden können, um eine *musterbasierte Fragencheckliste* zu entwickeln, die verschiedene Modellierungssituationen in modellierten GPs beschreibt, um dann zu diesen Modellsituationen eine Fragencheckliste zur Aufdeckung von Anforderungen[7] bereitzustellen.

---

[3] [FR17], [Ro11] weisen zwar darauf hin, dass bei einer GP-zentrierten Anforderungsanalyse für die Implementierung –insbesondere ohne Workflow-Engine– GPs alleine nicht ausreichend und zusätzliche „klassische" Anforderungen erforderlich sind, und benennen auch die üblichen dafür verwendbaren Elemente (z.B. Geschäftsobjekte/Klassendiagramme, Use Cases, Geschäftsregeln, Benutzerdialoge), lassen aber weitestgehend offen, wie diese Anforderungen auf Basis und im Einklang mit GPs ermittelt werden können.

[4] [Tu13; Kap. I.6.2.4] bietet ein relativ umfassende Beschreibung sowohl der Kernideen hinter dem Mustergedanken als auch einen Überblick über vielfältigen Arten von Mustern, deren Wirkungen, Nachteile und den Bezug zu anderen designtheoretischen Auffassungen in der Informatik.

[5] Prechelt und Unger [PU99] zeigen z.B., dass unerfahrene Softwareentwickler die Qualität Ihres Softwaredesigns durch die Anwendung von Mustern signifikant verbessern konnten.

[6] Rupp et al. schlagen dies z.B. für die Ermittlung von Stakeholdern [RS14; S.79] oder nichtfunktionalen Anforderungen [RS14; S.270ff] oder generell zum Prüfen von Anforderungen [RS14; S.329] vor.

[7] Wie Maiden et al. [Ma05; S.286] darstellen, fällt es Stakeholdern leichter, Fehler bei erst einmal vorhandenen Anforderungen als generell das Fehlen von Anforderungen aufzudecken. Deshalb ist es bei der Konzipierung der Fragen in der Fragencheckliste selbst nicht so entscheidend, ob damit sofort die korrekten Anforderungen aufgedeckt werden können. Stattdessen sollte hier das Augenmerk vielmehr auf das Potential zur Aufdeckung noch tatsächlich fehlender Anforderungen gelegt werden.

3 Prinzipdarstellung einer *musterbasierten Fragencheckliste*

In diesem Kapitel wird das Prinzip einer möglichen *musterbasierten Fragencheckliste* vorgestellt. Die Fragen werden in eine Beschreibungsstruktur eingebettet, die sich an typischen Strukturen von Mustern (Musterkatalog und -schablone) orientiert. Die gesamte Beschreibungsstruktur (äquivalent zu einem Musterkatalog) ist in einzelne Kapitel unterteilt. Jedes Kapitel beschreibt musterartig eine bestimmte modellierte Situation (äquivalent zu einem einzelnen Muster) mit den dazugehörigen Fragen. Jedes einzelne Kapitel folgt hierbei einer klar definierten Struktur (äquivalent zur Musterschablone):

- Die Überschrift besteht aus einer allgemeinen –leicht merkbaren– Regel, als eine umfassende Themenklammer für die sie enthaltenden Fragen. Hierbei handelt es sich immer um die adressierte musterartig beschriebene Modellierungssituation. Um Verweise zwischen Regeln zu erleichtern, steht vor jeder Regel eine Regel-Id (R...).
- Im Abschnitt unter der Überschrift werden zunächst die adressierte Modellierungssituation und der Bezug zu den folgenden Fragen erläutert.
- Anschließend werden die Fragen aufgelistet. Den Fragen ist zunächst eine Fragen-Id (Rx.F…) vorangestellt, um auch hier das Verweisen an anderer Stelle zu erleichtern. Dem folgt dann die Frage. Falls die Frage einer weiteren Erläuterung bedarf, wird anschließend –über einen Bindestrich getrennt– eine weitere Erläuterung geboten.

Im nächsten Kapitel folgt ein Auszug aus einer umfangreicheren von den Autoren erarbeiteten Beispielfragencheckliste. Diese Fragencheckliste konzentriert sich auf typische Modellierungssituationen, die bei der GP-Modellierung in BPMN auftreten können.

3.1 R1: Fast jede IT-bezogene Aufgabe benötigt mind. ein Interaktionselement

R1 beschreibt die Tatsache, dass fast jede IT-bezogene Aufgabe in einem GP-Modell mindestens ein Mal mit einer Benutzerinteraktion verbunden ist und hierfür –zumeist– mindestens ein Nutzerinteraktionselement[8] (NIAE) in dem betreffenden System vorhanden sein muss[9]. Deshalb muss für jede IT-Aufgabe folgendes geklärt werden:

- R1.F1: Welche Informationen werden hierfür benötigt? – Es ist zu klären[10], welche Informationen notwendig und welche evtl. noch nützlich für die Aufgabe wären.
- R1.F2: Wie sollen die benötigten Informationen dargestellt und durch den Benutzer

[8] Z.B. ein GUI-Fenster (GUI=Graphical User Interface), Teil eines GUI-Fensters, ein GUI-Control, oder sonst ein Konzept zur Nutzerinteraktion (z.B. Sprachkommandos, Steuergesten, ...).
[9] Vgl. hierzu auch die Bemerkungen von [FR17; S.156f] zur Modellierung von Maskenflüssen und BPMN.
[10] Soweit für den für den Zweck der Anforderungserhebung angestrebten Detailgrad erforderlich; dies gilt auch im Folgenden für alle anderen Fragen des Fragenkatalogs;

editiert werden können? – Für jede Information muss geklärt werden, mit welchen NIAEs (z.B. GUI-„Controls“) die entsprechende Information dargestellt und evtl. die Eingabe von Daten gehandhabt werden soll.

- R1.F3: Wie viele NIAEs sind involviert[11]? – Gibt es keine, eine oder mehrere NIAEs. Die folgenden Fragen müssen für jedes NIAE beantwortet werden.
- R1.F4: Ist ein eigenes (neues) NIAE erforderlich?
- R1.F5: Kann ein anderes schon vorhandenes NIAE (z.B. GUI-„Maske“) erweitert werden? – Diese Frage ist eine Art Gegenfrage zu R1.F4. Hier schließen sich folgende Unterfragen an, die v.a. den Aspekt der Gebrauchstauglichkeit adressieren:
  - R1.F5.1: Passen die Daten des NIAEs dann überhaupt zusammen?
  - R1.F5.2: Passen die verschiedenen Aufgaben des NIAEs zusammen?
  - R1.F5.3: Wird das NIAE dadurch nicht überladen?
- R1.F6: Wie gelangt der Benutzer zum NIAE? – Durch Suche, Filtern, …?
- R1.F7: Ist die Navigation bzgl. der anderen Aktivitäten schlüssig? – Fast jede Aktivität hat eine oder mehrere Vor- und Nachaktivitäten. Hier ein schlüssiger Übergang zwischen den Aktivitäten und den damit assoziierten NIAEs erforderlich.

Diese Fragen müssen für alle in einem GP modellierten Aufgaben gestellt und beantwortet werden, weil dies essentielle Informationen zu jeder Aufgabe sind.

3.2 Derzeit bekannte Regeln in der ausgearbeiteten Beispielfragencheckliste

Derzeit haben die Autoren im erarbeiteten Beispielfragenkatalog folgende weitere Regeln identifiziert und dazu jeweils Musterkapitel entsprechend obiger Struktur erarbeitet:

- „R2: Fast jedes Datenartefakt stellt zumeist ein eigenes Artefakt oder sonst etwas Wesentliches dar“ – adressiert Datenartefakte und diesbzgl. typische Fragen;
- „R3: Start-/Endereignisse müssen genau analysiert werden“ – adressiert typische Fragestellungen bzgl. Start-/Endereignissen sowie den Bezügen dazwischen;

[11] Diese und folgende Fragen adressieren die Anforderungen an die logische Struktur / den logischen Zuschnitt von NIAEs. Die konkrete Ausgestaltung hängt vom angestrebten Detaillierungsgrad– und den geforderten / durch Rahmenbedingungen vorgegebenen Technologien ab, z.B. Web/Browser, Desktop,Mobilgeräte, …

- „R4: Fehler- und Abbruchkanten/-ereignisse müssen genau analysiert werden“ – adressiert typische Fragestellungen in Bezug auf Fehler oder Nutzerabbrüche, wie etwa Konsistenzerhaltung der Daten
- „R5: Systemgrenzen überschreitende Pfeile sind besonders kritisch“ – adressiert Medienbrüche, die typischerweise beim Übergang zwischen Systemen auftreten.
- „R6: Auch Benutzergrenzen überschreitende Pfeile sind sehr wichtig“ – adressiert mögliche Brüche bei Übergängen von GP-Verantwortungsbereichen.

4 Möglichkeiten und Potentiale des Ansatzes

Dieser Artikel zeigt, wie der Mustergedanke verwendet werden kann, um Erfahrungswissen von Anforderungsingenieuren bzgl. der Übertragung von modellierten Geschäftsprozessen auf Anforderungen für IT-Systeme festzuhalten.

Da es sich bei modellierten GPs um sehr abstrakte Beschreibungen handelt und eine Übertragung in IT-Systeme in Hinblick auf Rahmenbedingungen und sonst zu beachtende Aspekte sehr unterschiedlich geartet sein kann, ist es für diese Fälle schwierig, allgemeingültige, rezepthafte Regeln für die Ableitung von Anforderungen aufzustellen. Deshalb schlagen wir einen Ansatz vor, der eher musterartig typische Modellierungssituationen beschreibt und dazu einen checklistenartigen Fragenkatalog bietet, der bei der frühzeitigen Aufdeckung möglichst aller relevanten Anforderungen helfen soll. Eine solche *musterbasierte Fragencheckliste* ermöglicht es dann, modellierte GPs systematisch nach beschriebenen Modellierungssituationen abzugehen und mittels der jeweils gesammelten Fragen möglichst alle relevanten Anforderungen zu erfragen bzw. erstellte Anforderungen bzgl. ihrer Qualität und Vollständigkeit zu prüfen.

Eine solche *musterbasierte Fragencheckliste* kann auch benutzt werden, um Ungenauigkeiten und Inkonsistenzen innerhalb eines GP-Modells aufzudecken (auch unter Berücksichtigung von etwaigen Modellierungskonventionen), getroffene Entscheidungen bzgl. Systemgrenzen zu hinterfragen (z.B. um Datenredundanzen zu reduzieren), oder bei einer automatisierten Umsetzung via Workflow-Engine helfen, wichtige Aspekte bzw. Anforderungen aufzudecken.

Weitere Vorteile eines solchen Vorgehens sind, dass eher ein ganzheitliches Denken über einzelne Systemgrenzen hinweg gefördert wird und dieses Wissen in ein vermittelbares Format gebracht werden kann.

Zur Validierung des hier vorgestellten Prinzips haben die Autoren eine Fragencheckliste für BPMN-Modelle entwickelt und diese in Kap 3.1 und 3.2 auszugsweise vorgestellt. Diese Fragencheckliste adressiert noch nicht alle in BPMN vorkommende Situationen, weshalb die Autoren die Analyse weiterer Situationen planen.

Ein anknüpfender Aspekt ist die Frage nach einer geeigneten Dokumentationsstruktur für die aufgedeckten Anforderungen. Während GP-Modelle eher eine fachliche Prozesssicht adressieren, ist bzgl. der Umsetzung eher eine Strukturierung anhand der IT-Systeme erforderlich, wo sich eher eine anwendungsfallorienterte Sichtweise [Ja04] etabliert hat, weshalb eine Verknüpfung dieser beiden Sichtweisen notwendig ist (vgl. z.B. auch [FR17; S.158f], [RS14; S.170f]). Dies wiederum wirft die Frage auf, ob ein ähnliches, musterbasiertes Konzept auch diesbzgl. Hilfestellung leisten kann.

Literaturverzeichnis

[Fo97] Fowler, M.: Analysis Patterns: Reusable Object Models. Addison-Wesley, Reading, MA, 1997.

[FR17] Freund, J.; Rücker, B.: Praxishandbuch BPMN. Hanser Verlag, München, 2017.

[Ga95] Gamma, E. et al.: Design Patterns: Elements of Reusable Object-Oriented Software. Addison-Wesley, Reading, MA, 1995.

[Ja04] Jacobson, I.: Object Oriented Software Engineering: A Use Case Driven Approach. Addison-Wesley, Red Wood City, CA, USA, 2004.

[Ma05] Maiden, N. et al.: Generating requirements from systems models using patterns: a case study. In: Requirements Engineering November 2005, Vol. 10, Issue 4, pp. 276–288, Springer (2005).

[Mo04] Moro, M.: Modellbasierte Qualitätsbewertung von Softwaresystemen. Books on Demand GmbH, 2004.

[OMG11] Object Management Group (OMG): Business Process Model and Notation (BPMN) V. 2.0, 2011 (http://www.omg.org/spec/BPMN/2.0 (Zugriff: 06.17)).

[PU99] Prechelt, L.; Unger, B.: Methodik und Ergebnisse einer Experimentreihe über Entwurfsmuster. In: Informatik Spektrum 14 Nr. 3, März 1999.

[Ro11] Rohfleisch, F.: Geschäftsprozessorientierte Anforderungsanalyse – Business Analyse mit ARIS und UML. Edition Octopus, MV-Verlag, Münster, 2011.

[RS14] Rupp, Chr.; Sophist Group: Requirements-Engineering und Management, 6. Auflage, Hanser Verlag, München, 2014.

[Tu13] Turban, B.: Tool-Based Requirement Traceability between Requirement and Design Artifacts. Vieweg+Teubner Verlag, Wiesbaden, 2013.

[Wi07] Withall, S.: Software Requirement Patterns. Microsoft Press, WA, Redmond, 2007.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 849

Geschäftsprozessmanagement in global verteilten Produktentwicklungsprojekten

Gökhan Özcan[1] und Andreas Drescher[2]

Abstract: Die schnelle Reaktion auf Veränderungen von Märkten, Kunden und Technologien erfordert insbesondere in der Produktentwicklung eine hohe Flexibilität, weshalb Unternehmen von klassischen zu agilen bzw. hybriden Vorgehensmodellen wechseln und Lean Methoden einsetzen. Darüber hinaus wird die Produktentwicklung vermehrt kooperativ in global verteilten Teams durchgeführt. In diesem Zusammenhang stellt die übergeordnete Steuerung der Projekte zwischen den global verteilten Teams mit unterschiedlichen Vorgehensmodellen eine Herausforderung für das Projektmanagement dar. Derzeit gibt es keine ganzheitliche Methode für die flexible Vernetzung von Geschäftsprozessen in global verteilten Produktentwicklungsprojekten. Die flexible Vernetzung kooperierender Unternehmen mit unterschiedlichen Vorgehensmodellen und die damit verbundene, schnelle Initiierung der Kooperation, die Beibehaltung von Freiheitsgraden beteiligter Unternehmen und die automatisierte Ermittlung von Prozess-/ Projektkennzahlen, stellt eine Herausforderung für das Projektmanagement dar. Dieser Beitrag illustriert die Problematik und stellt einen Ansatz für eine flexible Vernetzung von Geschäftsprozessen vor.

Keywords: Agil, Lean, Vorgehensmodelle, Produktentwicklung, Geschäftsprozess, Petri-Netze

1 Einleitung

Um den langfristigen Erfolg zu sichern, müssen Unternehmen schnell auf Markt-, Kunden- und Technologieveränderungen reagieren und diesen Wandel als kontinuierlichen Prozess betrachten und steuern. Für die Produktentwicklung stellt dies eine Herausforderung in Bezug auf die Flexibilität, Kosten und Durchlaufzeit der Projekte dar. Um die Flexibilität in der Produktentwicklung zu erhöhen, wechseln Unternehmen von klassischen zu agilen bzw. hybriden Vorgehensmodellen und setzen vermehrt Lean Methoden ein [ÖD16]. Unternehmen erzielen komparative Vorteile meist nur durch Fähigkeiten, die im Vergleich zum Wettbewerb einzigartig sind. Aus diesem Grund konzentrieren sich Unternehmen auf ihre Kernkompetenzen und kaufen zusätzlich benötigte Fähigkeiten mittels Kooperationen flexibel ein. Dies hat zur Folge, dass die Produktentwicklung überwiegend in Kooperation mit global verteilten Unternehmen durchgeführt wird. Die Steuerung von kooperativen Produktentwicklungsprojekten wird in diesem Zusammenhang mit höherer Produktkomplexität, immer kürzeren Produktlebenszyklen und dem Einsatz von unterschiedlichen Vorgehensmodellen zunehmend erschwert. In der Praxis stellt dies eine Herausforderung für das Projekt- und Geschäftsprozessmanagement dar.

[1] Belden, 1515 Gumei Road, 200233 Shanghai, Goekhan.Oezcan@belden.com
[2] Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Institut für Angewandte Informatik und Formale Beschreibungsverfahren (AIFB), 76128 Karlsruhe, Andreas.Drescher@kit.edu

doi:10.18420/in2017_84

Projekte werden in Teilprojekte unterteilt, über Zeitzonen hinweg in unterschiedlichen Unternehmen kooperativ bearbeitet und anschließend wieder zusammengeführt. Sprachliche und kulturelle Unterschiede können diesen Ablauf zusätzlich erschweren bzw. verzögern. Jedes Teilprojekt kann in unterschiedlichen Unternehmen auf der Basis eines klassischen, agilen, hybriden oder auch gar keinem Vorgehensmodell durchgeführt werden. Die Kooperationspartner müssen meist vor Beginn des Projektes gegenseitig die internen Geschäftsprozesse offenlegen, abgleichen, verstehen und oftmals auch anpassen. Diese manuellen Aktivitäten sind mit sehr viel Aufwand verbunden und können die Initialisierungsdauer von Kooperationsprojekten über mehrere Monate verzögern und die Freiheitsgrade beteiligter Unternehmen einschränken. Projekt- und Prozesskennzahlen müssen kontinuierlich in manueller Abstimmung und unter hohem Aufwand ermittelt und analysiert werden. Derzeit gibt es keine ganzheitliche Methode für die flexible Vernetzung von Geschäftsprozessen in kooperativen Produktentwicklungsprojekten. Im Mittelpunkt dieses Beitrages steht die Bewertung von bestehenden Methoden für die Vernetzung von Geschäftsprozessen und darauf aufbauend die Vorstellung eines Ansatzes zur flexiblen Vernetzung von Geschäftsprozessen in global verteilten Produktentwicklungsprojekten.

2 Methoden zur Vernetzung von unternehmensübergreifenden Geschäftsprozessen

[Ob96] definiert einen Geschäftsprozess als eine Menge von manuellen, teilautomatisierten oder automatisierten Aktivitäten, die in einer Organisation nach bestimmten Regeln auf ein bestimmtes Ziel hin ausgeführt werden. Ein zusammenhängender, rechnergestützter Teil des Geschäftsprozesses wird als Workflow bezeichnet. Der Unterschied zwischen Geschäftsprozessen und Workflows liegt in der Automatisierbarkeit der Geschäftsprozesse [Aa09]. Das Geschäftsprozessmanagement hat das übergeordnete Ziel, die Aktivitäten in Unternehmen weitestgehend zu standardisieren, um eine Transparenzerhöhung, Kosteneinsparung, Harmonisierung der Prozesslandschaft, Verbesserung der Qualität und Steigerung der Kundenzufriedenheit anzustreben. In der kooperativen Produktentwicklung wird die Komplexität der Zusammenarbeit neben dem Einsatz von unterschiedlichen Vorgehensmodellen, zusätzlich durch die Anzahl der Kooperationspartner sowie deren Beziehungsstruktur untereinander beeinflusst. Es können beispielsweise bilaterale oder trilaterale Beziehungen vorliegen, aber auch einfache bzw. komplexe Netzwerke [TL04]. Eine Klassifizierung zur Vernetzung von unternehmensübergreifenden Geschäftsprozessen wird in [CD06] aufgezeigt:

- *Kapazitätsteilung (Capacity Sharing):* Einzelne Aufgaben werden durch externe Partner ausgeführt. Ein Partner übernimmt die Funktion des Workflow-Managers.
- *Verkettete Ausführung (Chained Execution):* Der Geschäftsprozess wird in disjunkte Phasen aufgegliedert, welche nacheinander ausgeführt werden. Jeder Partner ist für eine Phase verantwortlich.
- *Unteraufträge (Sub Contracting):* Nicht nur einzelne Aufgaben, sondern ganze

Teilprozesse werden an einen externen Partner ausgelagert.

- *Fallübertragung (Case Transfer):* Jeder Partner verwendet das gleiche Geschäftsprozessmodell. Für die konkrete Ausführung der entsprechenden Instanzen werden die benötigten Informationen an den auszuführenden Partner übertragen.
- *Lose Kopplung (Loosely Coupled):* Jeder Partner ist für einen bestimmten Teil des Geschäftsprozesses verantwortlich. Die Ausführung der Teile kann parallel erfolgen.

Für die Realisierung unternehmensübergreifender Geschäftsprozesse mittels der losen Kopplung, können beispielsweise die Konzepte Message Sequence Chart (MSC) [Aas00], Public to Private-Ansatz (P2P) [AW01], Workflowsichten [SO04], Interorganizational Workflow-Netze (IWF-Netze) [PJ09] und relative Workflow-Netze (RWF-Netze) [ZY09] angewendet werden. Der *Message Sequence Chart*-Ansatz [Aa00] kann für die Darstellung von Kommunikationsflüssen zwischen Systemen und/oder Prozessen eingesetzt werden. Die unternehmensinternen Workflows werden an bestimmten Synchronisationspunkten mittels synchroner oder asynchroner Kommunikation untereinander abgestimmt. Der Detaillierungsgrad wird in der Planungsphase, im Vergleich zur direkten Vernetzung der Petri-Netze, geringgehalten. Bei dem *Public to Private*-Ansatz (P2P) [AW01] einigen sich die Partner auf einen gemeinsamen öffentlichen Workflow und für jede Transition ist genau ein beteiligter Partner verantwortlich. Jeder Partner implementiert seinen eigenen privaten Workflow. Das Konzept der *Workflowsichten* [SO04] ist ein 3-Schichtenmodell. Ein Workflow wird demnach in private und kooperationsrelevante public Workflows gegliedert. Auf der innersten Schicht befinden sich die privaten Workflows, die vollständig modelliert sind, aber nur unternehmensintern eingesehen werden können. Auf der umschließenden Schicht sind die jeweiligen angepassten Kooperationsprozesse anzuordnen, die nur Aktivitäten beinhalten, welche für die Kooperation erforderlich sind und somit eine Abstraktion der privaten Workflows darstellen. Die äußerste Schicht repräsentiert den öffentlichen Kooperationsworkflow, der zur gemeinsamen Produktentwicklung mit den Kooperationspartnern verwendet wird. Die *Interorganizational Workflow Nets* (IWF-Netze) [PJ09] sind ein weiterer Ansatz zur losen Kopplung von unternehmensübergreifenden Geschäftsprozessen und basieren auf dem Prinzip der verschachtelten Petri-Netze, so dass die Marken im Petri-Netz wiederum Petri-Netze darstellen. In diesem Zusammenhang besitzt jedes Unternehmen einen eigenen privaten Workflow, der über ein Kooperationsnetz (Control-Netz) mit den anderen Kommunikationspartnern synchron oder asynchron kommuniziert. Die Workflows der einzelnen Unternehmen werden als Objekte (Marken) in dem Kooperationsnetz dargestellt. Ein Kooperationsnetzwerk mit n Teilnehmern besteht aus n+1 Petri-Netzen. Die Methode des *Relativen Workflow Modells (RWF)* [ZY09] basiert ebenfalls auf den privaten Workflows, dabei wird jede Transition mit einem Sichtbarkeitswert belegt. Eine Transition kann den Wert unsichtbar (invisible), nachverfolgbar (trackable) oder kontaktierbar (contactable) annehmen. Nachdem jede Transition mit einem Sichtbarkeitswert belegt wurde, können die unsichtbaren Transitionen ausgeblendet werden und es entsteht für die externen Partner ein Dummy-Workflow.

3 Bewertung von Methoden zur Vernetzung von unternehmensübergreifenden Geschäftsprozessen

Die Anforderungen an eine Methode für die flexible Vernetzung von Geschäftsprozessen wurden im Rahmen von strukturierten Experteninterviews innerhalb des weltweiten Belden-Konzerns durchgeführt. Belden ist ein börsennotiertes Unternehmen, das Lösungen für die Datenübertragung entwickelt, produziert und vermarktet. Die Anwendungen reichen von der Industrieautomatisierung über Rechenzentren und Rundfunkstudios bis hin zur Luft- und Raumfahrt. Die Interviews wurden mit 23 Produktentwicklungsexperten aus China, Deutschland, Indien, Rumänien und den USA durchgeführt. Die entwickelten Produkte umfassen Layer 2- und 3-Switches bis hin zu industriellen Sicherheits- und WLAN-Systemen, Kabeln und Steckverbindern. Die wesentlichen Anforderungen aus den Experteninterviews werden im Folgenden dargestellt und bewertet.

1. *Trennung zwischen privaten/ lokalen ggf. vertraulichen Geschäftsprozessen von kooperationsrelevanten Geschäftsprozessen. Veröffentlichung nur von abstrahierten Geschäftsprozessen, ohne die vollständigen, internen Geschäftsprozesse an die Kooperationspartner offenlegen zu müssen.* Diese Anforderung wird durch den P2P-Ansatz und den Workflowsichten-Ansatz mittels Vererbung unterstützt. RWF-Netze unterstützen diese Anforderung durch die Sichtbarkeit von Transitionen. Die MSC- und IWF-Ansätze unterstützen diese Anforderung nicht.
2. *Keine Notwendigkeit Fremdprozesse lokal zu implementieren, um an der Kooperation teilnehmen zu können.* Bis auf den P2P-Ansatz, unterstützen alle aufgeführten Ansätze diese Anforderung.
3. *Flexibilität die privaten/ lokalen Geschäftsprozesse zu ändern bzw. verbessern, ohne dadurch die Kooperationsprozesse negativ zu beeinflussen.* Der P2P- sowie der Workflowsichten-Ansatz, ermöglichen durch die Vererbung von Teilprozessen des Kooperationsprozesses oder mittels der Abstraktion von lokalen Prozessen in Sichtweisen, Änderungen durchzuführen. RWF-Netze erfüllen diese Anforderung, da die Kooperationsmodellierung ausschließlich über die Austauschbeziehungen erfolgt. Die internen Workflows der IWF-Netze können während der Laufzeit verändert werden, solange die Abhängigkeiten über die Beschriftungen erhalten bleiben [PJ09]. Der MSC-Ansatz unterstützt diese Anforderung nicht.
4. *Möglichst kurze Initialisierungsdauer der Kooperation, gemessen ab der Entscheidung für eine Kooperation bis zum Beginn der produktiven Zusammenarbeit.* Der „Loosely Coupled"-Ansatz von [Aal99] erfordert durch die Anwendung von MSCs und die anschließende Modellierung eine längere Initialisierungsdauer. Der P2P-Ansatz ist aufgrund der Anpassung der lokalen Prozesse nach der gemeinsamen Definition des übergeordneten Kooperationsprozesses mit mehr Aufwand verbunden. Der Workflowsichten-Ansatz reduziert die Komplexität und den Aufwand vor der Modellierung mittels Sichten. Bei IWF-Netzen ist dieser Prozess durch den Einsatz von Beschriftungen mit geringem Aufwand möglich. Bei RWF-Netzen findet die Modellierung der Austauschbeziehung über Mengen statt und kann automatisiert werden [ZY09].

5. *Unterstützung der synchronen und asynchronen Kommunikation vernetzter Geschäftsprozesse für die übergeordnete Projektstatusermittlung.* Sämtliche genannte Ansätze, bis auf den RWF-Ansatz, unterstützen beide Kommunikationsformen. Bei den RWF-Netzen werden die Kommunikationswege mittels eines Nachrichtenaustausches realisiert, wodurch eine synchrone Kommunikation nicht möglich ist.

Des Weiteren können die Methoden hinsichtlich der Ablaufrichtung (top-down/ bottom-up) und der Kooperationsmodellierung (zentralisiert und dezentralisiert) klassifiziert werden. In den Experteninterviews wurde mehrheitlich ein zentralisierter bottom-up Ansatz gefordert. Der zentralisierte Ansatz soll eine übergeordnete Sicht auf die Austauschbeziehungen bzw. Abhängigkeiten zwischen den kooperierenden Unternehmen ermöglichen und somit das Projektmanagement erleichtern. Die Anforderung nach einem bottom-up Ansatz hängt mit der Anforderung Nr.2 zusammen und soll vermeiden, dass kooperierende Unternehmen Fremdprozesse implementieren müssen. Zusammenfassend können lediglich die Workflowsichten-, IWF-, sowie Loosely Coupled Ansätze als zentralisierte bottom-up Methoden klassifiziert werden und erfüllen somit die Anforderungen bezüglich der Ablaufrichtung und der Kooperationsmodellierung für die flexible Vernetzung.

4 Ein Ansatz für die flexible Vernetzung von Geschäftsprozessen

Das Ergebnis der Bewertung zeigt, dass die einzelnen Methoden die wesentlichen Anforderungen für die flexible Vernetzung von Geschäftsprozessen teilweise, aber nicht vollständig erfüllen. Auf der Basis dieser Bewertung wird im Folgenden ein kombinierter Ansatz aus Workflowsichten und IWF-Netzen vorgestellt. Der kombinierte Ansatz erfüllt die aufgeführten Anforderungen und besteht aus der Abstraktion kooperationsrelevanter Prozessteile aus den privaten/ lokalen Geschäftsprozessen und die anschließende Vernetzung der Geschäftsprozesse. Die Abstraktion aus den privaten/ lokalen Geschäftsprozessen kann mittels der Workflow-Komposition und View-Definition aus [PS05] durchgeführt werden. Die Grundlage der Sichtweisen beruht auf dem Konzept der relationalen Algebra und ermöglicht es feingranulare Sichten auf die privaten/ lokalen Geschäftsprozesse zu definieren. Anschließend werden die mittels Sichten reduzierten Netze WF_1, …, WF_n in erweiterte WF-Netze WF'_1, …, WF'_n überführt und die synchronen und asynchronen Kommunikationspfade mittels Beschriftungen modelliert. Entscheidender Vorteil dieser Methode ist das automatisch generierte Control-Netz, welches sämtliche asynchronen Kommunikationsverbindungen zwischen den vernetzten Workflows beinhaltet. Die asynchrone Kommunikation erfolgt in der Produktentwicklung häufig durch den Austausch von Dokumenten zwischen den Kooperationspartnern. Das Control-Netz könnte im nächsten Schritt um Termine erweitert werden und somit den kritischen Pfad des Projektes abbilden. Des Weiteren könnte die Modellierung durch den Einsatz von XML-Netzen um die Datenebene ergänzt werden. Diese Erweiterung würde es ermöglichen, die Geschäftsprozess-, Funktions- und Datenebene in einem

Modell zusammenzuführen [LeO03].

5 Zusammenfassung und Ausblick

Unternehmen wechseln vermehrt von klassischen zu agilen bzw. hybriden Vorgehensmodellen, um die Durchlaufzeit von Produktentwicklungsprojekten zu verkürzen und die Reaktionsgeschwindigkeit auf Marktveränderungen zu steigern. In diesem Zusammenhang stellt die Vernetzung und Steuerung von kooperativen Produktentwicklungsprojekten zwischen Unternehmen mit unterschiedlichen Vorgehensmodellen eine Herausforderung für das Projekt- und Geschäftsprozessmanagement dar. Bestehende Ansätze erfüllen nur Teilweise die Anforderungen für eine flexible Vernetzung von Geschäftsprozessen: *Private Geschäftsprozesse*, *keine Notwendigkeit Fremdprozesse lokal zu implementieren, Flexibilität hinsichtlich Änderungen während der Projektlaufzeit, kurze Initialisierungsdauer der Kooperation, synchrone und asynchrone Kommunikation*. Einen möglichen Ansatz für die flexible Vernetzung von Geschäftsprozessen stellt die Kombination der Workflowsichten- und IWF-Netz-Methoden dar. Dieser kombinierte Ansatz ermöglicht es mittels relationaler Algebra eingeschränkte Abstraktionen privater Geschäftsprozesse zu generieren und anschließend die Kooperation mittels IWF-Netzen zu modellieren. Diese Modellierungsmethode erzeugt mithilfe von Beschriftungen in einem höheren Petri-Netz die Kooperationsbeziehungen und Abhängigkeiten zwischen den unternehmensinternen Geschäftsprozessen. Dieser Ansatz kann das Projekt- und Geschäftsprozessmanagement durch die damit verbundene, schnelle Initiierung der Kooperation, die Beibehaltung von Freiheitsgraden beteiligter Unternehmen und die automatisierte Ermittlung von Prozess-/ Projektkennzahlen verbessern. Weiterführend muss der vorgestellte Ansatz prototypisch implementiert und evaluiert werden.

Literaturverzeichnis

[Aa09] Aalst, W. v.: Business Process Management, Springer, 2009

[Aa00] Aalst, W. v.: Loosely coupled interorganizational workflows: modeling and analyzing workflows crossing organizational boundaries, Information and Management , 2000

[AW01] Aalst, W. v.; Weske, M.: The P2P approach to interorganizational workflows in: Advanced Information Systems Engineering, Springer, Heidelberg 2001

[CD06] Chebbi, I.; Dustdar, S.; Tata, S.: The view-based approach to dynamic interorganizational workflow cooperation, Data & Knwoledge Engineering , 56, 2006

[LeO03] Kirsten Lenz und Andreas Oberweis, Interorganizational Business Process Management With XML Nets in Petri Net Technology for Communication-Based Systems, Advances in Petri Nets, Hartmut Ehrig et al., Hrsg., Band 2472, SS. 243- 263, 2003

[Ob96] Oberweis, A.: Modellierung und Ausführung von Workflows mit Petri-Netzen. Teubner Verlag, 1996

[ÖD16] Özcan, G.; Drescher, A.: Hybride Vorgehensmodelle und Lean Methoden in global verteilten Produktentwicklungsprojekten, Projektmanagement und Vorgehensmodelle (PVM2016), Gesellschaft für Informatik e.V. (GI), Köllen Druck+Verlag GmbH, 2016

[PS05] Pankratius, V.; Stucky, W.: A Formal Foundation for Workflow Composition, Workflow View Definition, and Workflow Normalization based on Petri Nets In: Conceptual modelling, Volume 43, Australian Computer Society, Inc., Darlinghurst, Australia 2005

[PJ09] Prisecaru, O.; Jucan, T.: Interorganizational workflow nets: A petri net based approach for modelling and analyzing interorganizational workflows, Department of Computer Science, "Al. I. Cuza" University of Iași, Iași, Rumänien 2009

[SO04] Schulz, K. A.; Orlowska, M. E.: Facilitating cross-organisational workflows with a workflow view approach, Data & Knowledge Engineering, 51, Elsevier, Amsterdam 2004

[TL04] Theling, T.; Loos, P.: Determinanten und Formen von Unternehmenskooperationen, Lehrstuhl für Wirtschaftsinformatik und BWL, ISYM - Information Systems & Management, Johannes-Gutenberg-Universität, Mainz 2004

[ZY09] Zhao, X.; Liu, C.; Yang, Y. et al.: Aligning Collaborative Business Processes - An Organisational-Oriented Perspective, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics - Part A: Systems and Humans, Vol. 29, No. 6, IEEE, 2009

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 857

Development of a Domain-Specific Language for Run-Time Process Modelling – Making Use of Smart Glasses in BPM

Sven Jannaber[1], Benedikt Zobel[1], Dennis M. Riehle[2] Oliver Thomas[1] and Jörg Becker[2]

Abstract: Wearable devices pose novel challenges to the BPM field. The advanced functionality in combination with the increased mobility has rendered devices such as smart glasses particularly suited for mobile process support. However, whereas this support is predominantly limited to information provision and workflow management, the glasses' capability to be utilized for actual process modelling has yet to be investigated. As a first step, this paper proposes an outlook on the development of a process modelling language that is specifically tailored towards the application domain smart glasses and can be applied for both modelling and representing business processes using a glasses-based modelling environment. A demonstration case is provided to highlight the utilization of process modelling on smart glasses.

Keywords: business process management, process modelling, smart glasses, mobile

1 Introduction

The integration of mobile information systems (IS) is considered a crucial long-term challenge for Business Process Management (BPM) [Ho11]. Nowadays, BPM has become increasingly important for enterprises due to growing complexity of organizational operations and technology [PWC11]. To support BPM in practice, process-aware information systems (PAIS) have emerged, which ought to "support operational business processes by combining advances in information technology with insight from management science" [Aa09]. Recently, the notion of PAIS has been expanded towards mobile [Ma17] and wearable [Ni16] technology, which is used to steer the workflow of operational processes such as technical services and to support processes with required information during their execution [Ma17]. However, current approaches in terms of mobile PAIS rather focus on the process control and execution phases of the BPM lifecycle [Aa04] by guiding users through already existing workflows and processes. As a result, there is a notable gap concerning the utilization of mobile technology and wearable devices in the process design phase, although wearables such as smart glasses are bringing valuable features and functionality to the table that can be exploited to enrich process models with additional data and to keep business process modelling up-to-date with technical innovations [Me17]. The consequences of this gap are two-fold: First, business process modelling as a core component of BPM fails to keep pace with technological advances. Nowadays, the modelling of

[1] Osnabrück University, Information Management and Information Systems, Katharinenstr. 3, 49074 Osnabrück, firstname.lastname@uni-osnabrueck.de
[2] University of Münster, Chair for Information Systems and Information Management, Leonardo-Campus 3, 48149 Münster, Germany, firstname.lastname@ercis.uni-muenster.de

doi:10.18420/in2017_85

processes still relies on traditional BPM suites running on desktop computers, which does not cope with the required mobility and flexibility of today's business processes. Second, process modelling remains a task for domain experts. Naturally, this issue results in severe consequences with respect to model quality and reusability, since the person responsible for process modelling often differs from the person that actually executes the business process [PAL99]. For any modelling endeavours, the choice of an adequate modelling language is essential. Henceforth, the utilization of smart glasses for business process modelling requires the development of a specific modelling language that is tailored towards the application domain smart glasses [Me17]. Although propositions regarding modelling languages for mobile devices have already been made, research in this matter primarily focuses on smartphones or tablet computers, e.g. [KRR12]. Accordingly, the contribution at hand adheres to the research question stated as follows: How can business process modelling on smart glasses be utilized via an appropriate modelling language that is developed according to the specific needs of the application domain? To this end, the paper conceptualizes the development of a domain-specific process modelling language (DSPML) that is suited for a smart glasses modelling environment. The modelling language is based on the event-driven process chain (EPC) that has been chosen as baseline language, since it is well established in both research and practice [Fe13]. Furthermore, the EPC is characterized by a rather limited set of modelling constructs, which fits the intended domain. The primary outcome of this research is an outlook on the development and potential utilization of a domain-specific process modelling language, which can be applied to document and represent business processes in run-time on smart glasses.

The paper is structured as follows. Section 2 introduces fundamentals on smart glasses. In section 3, the research design of the underlying research project is carried out. Lastly, section 4 provides a brief outlook on the utilization of a customized EPC language specification towards a smart glasses modelling environment.

2 Smart Glasses as mobile PAIS

Smart glasses are an emergent mobile technology that has been introduced in its current form by Google in 2012 through the presentation of the Google Glass. As lightweight wearable devices [RR16], they provide the user with a high degree of mobility. Smart glasses can be divided into monocular and binocular designs. The monocular build has one screen, while binocular glasses have two screens, one for each eye. With see-through displays, a user can look through the screen, being able to see elements directly behind the displayed information. Through the adoption of smart glasses, additional information provision can aid users in various different use cases or usage scenarios. In the context of this paper, we consider service support systems as mobile PAIS, since both systems share common characteristics. A service support system is a technical IS that supports the execution of activities, which are aligned in a process-oriented manner. An exemplary service support system discussed in literature utilizing smart glasses can be found in [Ni16] In contrast to common PAIS, mobility is a crucial aspect of service support systems, since

emphasize is put on the on-site support of its users, especially in the context of technical customer service. Here, focus lays within the flawless provision of information and data necessary for service execution [Ma17]. In parallel, smart glasses provide valuable functionality, such as video or audio capabilities, which need to be integrated into the underlying service process for further usage and analysis, expanding the notion of PAIS towards a rather user-centric system definition.

3 Research Design

For the development of a domain-specific process modelling language suited for a smart glasses modelling environment, a conceptual approach is applied as an underlying research methodology. The structure of the methodology is based on previous work of [Fr13] and the language development framework introduced in [Ja17]. The integrated procedure model is depicted in Figure 1. Slight alterations have been made in order to fit the research goal, which focuses on the conceptual level and does not include, for example, modelling tool integration.

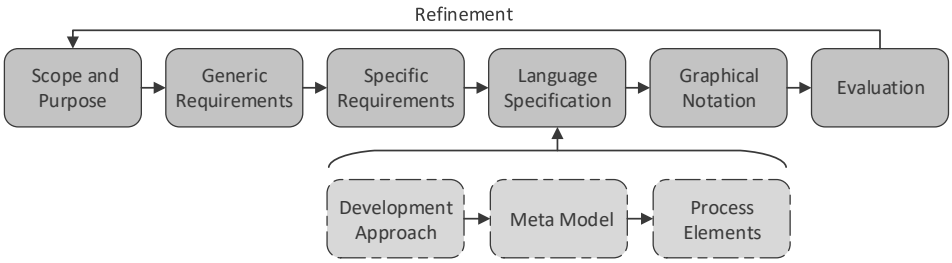


Fig. 1: Research methodology

The starting point of the language development is the determination of scope and purpose, which will be the main focus of this paper by providing an outlook on the potential utilization of a domain-specific EPC modification for run-time modelling with smart glasses. Following scope and purpose, a structured literature review is required to identify general requirements concerning the development of modelling languages as well as specific requirements that shed additional light on features, characteristics and obstacles of the application domain smart glasses that have an impact on the modelling language. The language specification is planned to be streamlined in accordance with the domain-specific process modelling language framework of [Ja17] and includes the choice of development approach, a meta-model based language specification on the basis of the identified requirements and the determination of process elements to be considered in a smart glasses modelling environment. Subsequently, each of the determined elements needs to be appropriately specified in terms of their graphical representations in order to cope with the specific requirements of information provision on smart glasses. Concluding the language development, an evaluation phase is required to assess the feasibility and performance of

the language, which can be facilitated by a prototypical implementation of a smart glasses modelling system using the developed modelling language. In order to elaborate on the scope and purpose of the current state of research with respect to the language development, an exemplary utilization of a domain-specific EPC modification on smart glasses is presented in section 4.

4 A Domain-Specific Language for Run-Time Process Modelling

An outlook of a prototypical utilization of a domain-specific modelling language in a smart glasses application domain in the field of technical customer service (TCS) is depicted in Figure 2. The TCS domain has been chosen, since it represents a promising area for smart glasses-based process support and corresponding process documentation due to the high complexity of manual service processes and the need for hands-free information provision.

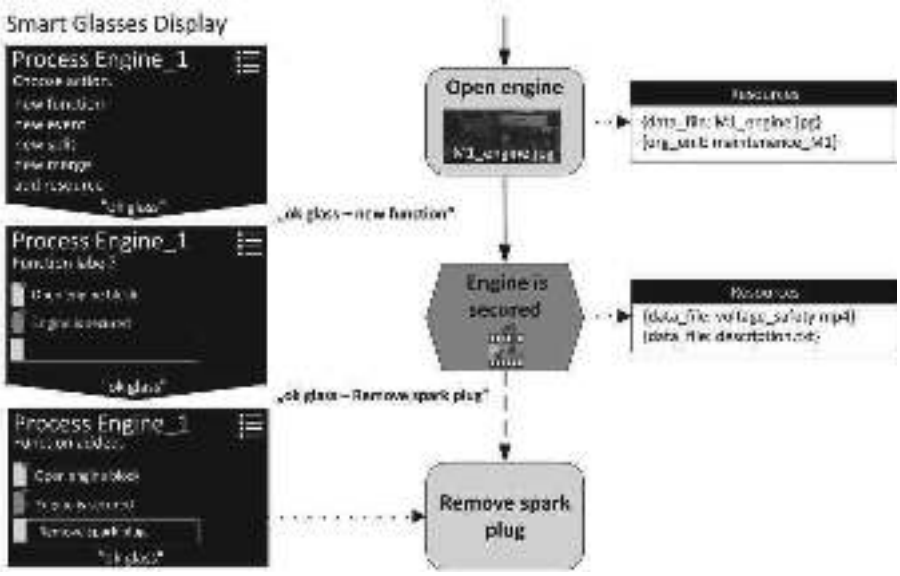


Fig. 2: Modelling of an EPC process model using smart glasses

In Figure 2, a technical service process is being documented by using a smart glasses modelling environment and a customized EPC specification. In the following, an outline of potential language modifications in terms of syntax, element semantics and graphical notation will be provided in order to facilitate a utilization of the EPC on smart glasses. On the one hand, the amount of modelling elements has been limited by removing trivial events and resource elements to reduce complexity and to cope with display space issues. Instead, resources are visually denoted on their associated element (as indicated by a blue mark in Figure 2). In contrast to traditional EPC specifications, the modification allows for resources to be assigned to events. The advanced functionality of smart glasses features

has been integrated into the language modification as well: The *Data File* modelling element has been added in order to represent images or video files that have been recorded during modelling. On the other hand, the modified graphical notation puts emphasis on the textual descriptions of the element labels to correspond to the specific demands of information provision on smart glasses. Furthermore, elements have been adjusted in size and appearance for usability and display space reasons. In addition, the elements are characterized by different colours and a high contrast of background to symbols and text to increase readability. The demonstration case in Figure 2 represents the smart glasses display that is visible to the user during modelling on the left side. The top screen shows a navigation menu with available options for process modelling. Via voice commands, the user is able to select an appropriate action. In the presented case, the user desires to add a new function after the previously modelled event "*Engine is secured.*" Subsequently, the system requests an element label that the user models via voice-to-text and includes the new element "*Remove spark plugs*" in the process model. Figure 2 demonstrates that two previous elements are attached with resources, as indicated by the blue mark. In the given case, these resources are data files which have been attached to both functions and events, such as the video file "*voltage_safety.mp4*" which belongs to the event "*Engine is secured*." Here, the modeller has used smart glasses functionality to record a video in order to document his proper securing of the engine. Following the modelling process, the resulting process model may be stored in a process database and subsequently be used to support other technicians that are assigned to similar service processes by its representation on a mobile PAIS or to train new employees in a specific service task.

In conclusion, little effort has yet been made to investigate a potential integration of novel features offered by wearable devices and process modelling. This paper proposes a first step to utilize process modelling on smart glasses. To this end, the contribution at hand introduces a development methodology for domain-specific process modelling languages and provides an outlook on a potential integration of a modified EPC specification into a smart glasses environment. The applied EPC modification is further detailed by indicating changes that have to be made on the language level in order to cope with the requirements of information provision on smart glasses. Process modelling with wearable devices opens up new research streams in the field of run-time modelling and addresses challenges of the field: Modelling quality and reusability can be increased, because smart glasses enable even non-domain experts to document processes in parallel to their execution. Process models can be further enriched with additional data, which facilitates the information support when being integrated into a PAIS. However, limitations have to be considered in subsequent research: First, run-time modelling on smart glasses is not generically feasible for all types of business processes, which requires a more detailed elaboration on processes that benefit from the outlined solution. Second, only a limited set of modelling pattern can be implemented in a smart glasses modelling environment to not increase complexity. Third, the presented contents remain on a rather conceptual level. However, an application in a real-world scenario may reveal additional requirements that have not been considered yet. Hence, a software prototype that implements the outlined EPC modification within a smart glasses modelling environment proves to be a fruitful step for future research.

References

[Aa04] van der Aalst, W. M. P.: Business Process Management Demystified: A Tutorial on Models, Systems and Standards for Workflow Management. In: Lecture Notes in Computer Science: Lectures on Concurrency and Petri Nets: Advances in Petri Nets, Vol. 3098, pp. 1-65, 2004.

[Aa09] van der Aalst, W. M. P.: Process-Aware Information Systems: Design, Enactment, and Analysis. In: Wiley Encyclopedia of Computer Science and Engineering, pp. 2221-2233, 2009.

[Fe13] Fellmann, M.; Bittmann, S.; Karhof, A.; Stolze, C.; Oliver, T.: Do we need a standard for EPC modelling? The state of syntactic, semantic and pragmatic quality. In: Enterprise modelling and information systems architectures (EMISA 2013), pp. 103–117, 2013.

[Fr13] Frank, U.: Domain-Specific Modeling Languages: Requirements Analysis and Design Guidelines. In: Reinhartz-Berger, I.; Sturm, A.; Clark, T.; Cohen, S.; Bettin, J. (eds.): Domain Engineering: Product Lines, Conceptual Models, and Languages: Springer Berlin/Heidelberg, pp. 133-157, 2013.

[Ho11] Houy, C.; Fettke, P.; Loos, P.: Business Process Management in the Large. In: Business & Information Systems Engineering, Vol. 3(6), pp. 385-388, 2011.

[Ja17] Jannaber, S.; Riehle, D.M.; Delfmann, P.; Thomas, O.; Becker, J.: Designing A Framework for the Development of Domain-Specific Process Modelling Languages. In: Proceedings of the Design Science Research in Information Systems and Technology (DESRIST 2017), 2017.

[KRR12] Kolb, J.; Rudner, B.; Reichert, M.: Towards Gesture-based Process Modeling on Multi-Touch Devices. In: CAiSE 2012, LNBIP, Vol. 112, pp. 208-293, 2012.

[Ma17] Matijacic, M.; Fellmann, M.; Kammler, F.; Özcan, D.; Nüttgens, M.; Thomas, O..: Elicitation and Consolidation of Requirements for Mobile Technical Customer Services Support Systems – A Multi-Method Approach. In: Proceedings of the 34th International Conference on Information Systems (ICIS 2013), pp. 1-16, 2013.

[Me17] Metzger, D.; Niemöller, C.; Berkemeier, L.; Brenning, L.; Thomas, O.: Vom Techniker zum Modellierer - Konzeption und Entwicklung eines Smart Glasses Systems zur Laufzeitmodellierung von Dienstleistungsprozessen. In: Smart Service Engineering, pp. 193-213, 2017.

[Ni16] Niemöller, C.; Metzger, D.; Fellmann, M.; Thomas, O.: Shaping the Future of Mobile Service Support Systems – Ex-Ante Evaluation of Smart Glasses in Technical Customer Service Processes. In: Informatik 2016. Klagenfurt, 2016

[PAL99] Pendergast, M; Aytes, K; Lee, J. D.: Supporting the group creation of formal and informal graphics during business process modelin. In: Interacting with Computers, Vol. 11(4), pp. 355–373, 1999.

[PWC11] PWC: Zukunftsthema Geschäftsprozessmanagement, 2011.

[RR16] Rauschnabel, P. A.; Ro, Y. K.: Augmented reality smart glasses: an investigation of technology acceptance drivers. In: IJTMkt, Vol. 11(2), pp. 1–26, 2016.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 863

Auf dem Weg zum stresssensitiven Prozessmanagement: Grundlagen zu Stress, seiner Messung und zu Anwendungsfällen

Michael Fellmann[1], Fabienne Lambusch[1], Anne Waller[2], Leonard Pieper[2] und Theresa Hellweg[2]

Abstract: In der gegenwärtigen Arbeitswelt sind zwei große Entwicklungen zu beobachten. Zum einen wird Arbeit belastender. Dies geschieht durch eine Verdichtung und Erhöhung des Arbeitspensums, durch anspruchsvollere Tätigkeiten, wie auch eine Entgrenzung von Arbeits- und Privatleben. Die zusätzliche Belastung geht einher mit einer steigenden Anzahl psychischer Probleme, stressbedingter Ausfälle und Erkrankungen wie Burn-out. Zum anderen nimmt die Durchdringung der Arbeitswelt mit IT immer weiter zu und die täglich genutzten (mobilen) IT-Geräte weisen eine Vielzahl an Sensoren auf, die bisher noch kaum in die Gestaltung und Ausführung der Arbeitsprozesse im Sinne „Guter Arbeit" eingebunden sind. Mit dem Artikel soll ein erster Beitrag für einen Brückenschlag zwischen beiden Entwicklungen geleistet werden. Dieser besteht darin, dass Sensoren zur Stressmessung aktiv in die Gestaltung und Ausführung von Geschäftsprozessen eingebunden werden. Hierfür schlagen wir Anwendungsfälle sowie Forschungsfragen für das stresssensitive Geschäftsprozessmanagement vor.

Keywords: Prozessmanagement, Stressmessung, Sensoren, Anwendungsfälle

1 Einleitung

Rund 60% der Menschen stehen laut einer Studie der Techniker Krankenkasse häufig oder manchmal unter Stress [TK16]. Dabei gaben die Befragten an, dass der Stress in den letzten drei Jahren zugenommen hat. Als Stress werden alle Belastungsarten bezeichnet, die den Organismus beeinflussen können [LSW12]. Diese Reaktion wird durch Stressoren ausgelöst, indem der Organismus mittels Anforderungen und Bedrohungen aktiviert wird [LS07]. Der Mensch bewertet die präsenten Stressoren jedoch individuell, so dass diese individuelle Bewertung ebenfalls eine zentrale Rolle bei der Entstehung von Stress einnimmt [VT00]. Entsteht Stress, wird schließlich eine Stressantwort ausgelöst. Die Stressantwort bezeichnet die konsequente physische, seelische und geistige Reaktion auf einen Stressor [LSW12]. Evolutionär betrachtet ist Stress eine natürliche Reaktion und Anpassung an Gefahrensituationen [LCG12]. Steht der Körper langfristig unter Stress, führen die Stressreaktionen zu negativen gesundheitlichen Folgen [Di16]. So kann ein Übermaß an Stress sich in physischen und psychischen Beschwerden widerspiegeln, die sich zu

[1] Universität Rostock, Institut für Informatik, Albert-Einstein-Str. 22, 18059 Rostock, {michael.fellmann, fabienne.lambusch}@uni-rostock.de
[2] Universität Osnabrück, Informationsmanagement und Wirtschaftsinformatik, Katharinenstr. 3, 49069 Osnabrück, {awaller, lpieper, thhellweg}@uni-osnabrueck.de

doi:10.18420/in2017_86

psychosomatischen oder psychischen Störungen weiterentwickeln können und hohe Fehlzeiten sowie Fluktuation verursachen [Ri11]. Um langfristige Fehlzeiten und Verluste der Gesamteffektivität zu umgehen, liegt es also auch im Interesse der Unternehmen Maßnahmen zur Verminderung von Stress zu ergreifen.

Mit diesem Artikel soll ein erster Beitrag dazu geleistet werden, Geschäftsprozesse stresssensitiv zu gestalten und auszuführen. Dazu wird in Abschnitt 2 zunächst die Bedeutung von Stress für die Arbeitswelt dargelegt und auf dessen Messung in Abschnitt 3 exemplarisch eingegangen. In Abschnitt 4 werden Anwendungsfälle für ein stresssensitives Geschäftsprozessmanagement präsentiert, sowie Fragen für die zukünftige Forschung skizziert. Schließlich erfolgt in Abschnitt 5 eine Zusammenfassung und ein Ausblick auf die zukünftige Forschung.

2 Betriebliche Bedeutung von Stress

Arbeit stellt einen erheblichen Teil des Alltags dar. Infolgedessen tragen die Bedingungen bei der Arbeit wesentlich zur psychischen und körperlichen Gesundheit der Mitarbeiter bei. Jedoch gilt der Arbeitsplatz als Stressfaktor Nummer Eins. So fühlen sich einer bundesweiten Repräsentativerhebung unter Beschäftigten der DGB-Index Gute Arbeit GmbH zufolge 52 % der Befragten sehr häufig bis oft von der Arbeit gehetzt und stehen unter Zeitdruck. Dieses Phänomen steht oft im Zusammenhang mit der Arbeitsintensivierung. So bestätigen 63 % der Beschäftigten, dass sie in den letzten Jahren mehr Arbeit in der gleichen Zeit schaffen müssen [DGB12]. Menschen haben unterschiedliche Reizschwellen und sind somit auch unterschiedlich belastbar. Die Stressresistenz einer Person geht unter anderem aus den subjektiven Wertvorstellungen bzw. Einstellungen hervor [AEB09, Sc12]. Zu viel Stress kann zu schwerwiegenden physischen und psychischen Beschwerden führen und hohe Fehlzeiten verursachen [Ri11]. Dabei haben die Arbeitsunfähigkeitstage aufgrund psychischer Erkrankungen in den letzten Jahren deutlich zugenommen [AOK16]. Schlussendlich bildet betriebliches Gesundheitsmanagement also einen Schlüsselfaktor für ein erfolgreich agierendes Unternehmen. Eine Möglichkeit dieses auszubauen kann es sein, weitere Maßnahmen zur Verminderung von Stress in die Gestaltung und Ausführung von Geschäftsprozessen einzubringen.

3 Messung von Stress

Um sowohl schnell als auch nachhaltig auf Stress reagieren zu können, ist eine automatisierte und längerfristige Messung von Stress hilfreich. Nachfolgend wird zwischen der Messung der *Stressoren* und der *Stressreaktion* unterschieden. Diese Unterscheidung ist insofern bedeutsam, als Stressoren letztlich eher einen Hinweischarakter haben, während die Stressreaktion tatsächlichen Stress anzeigt. Für die angestrebte stresssensitive Gestaltung und Ausführung von Prozessen im betrieblichen Kontext können besonders aufwän-

dige oder störende Messverfahren nicht genutzt werden, weshalb Ansätze wie die Elektroenzephalographie (EEG) nicht weiter betrachtet werden. Vielmehr soll der Fokus auf unauffälligen, mobilen und leicht in den Arbeitsalltag integrierbaren Optionen der Messung liegen. Dabei ist zu beachten, dass eine genügende Zuverlässigkeit der Daten gewährleistet wird. Eine Kombination mehrerer Instrumente der Stresserfassung hat sich als deutlich effizienter und valider herausgestellt als eine einseitige Messung und sollte deshalb bevorzugt werden [Di12].

Messung von Stressoren. Potenzielle Stressoren für den Menschen sind zum Beispiel Umwelteinwirkungen, wie das *Wetter*. Wetterdaten können unter anderem von jedem gängigen Smartphone in ausreichender Genauigkeit bestimmt werden, indem GPS, Uhrzeitinformationen und allgemein über das Internet zugängliche Aufzeichnungen abgerufen werden [Bo14]. *Kurzwelliges Licht*, das oftmals von Energiesparlampen ausgestrahlt wird, ist ein weiterer potenzieller Stressor. Es kann über Lichtsensoren auch in geschlossenen Räumen gemessen werden [CW16], wozu u.a. auch die Lichtfarbe und Frequenz von Monitoren erfasst werden kann [St15]. Auch *Lärm* ist ein möglicher Stressor und kann über Mikrofone gemessen werden [KS14]. Es wurde bereits in Versuchen gezeigt, dass sich der Geräuschpegel mit einem Smartphone messen und signifikant mit dem täglichen Stresslevel in Verbindung bringen lässt [St15]. Neben Umwelteinwirkungen können auch *Mails* und *Anrufe* Stressindikatoren sein. Dabei können aus mehreren Faktoren gemeinsam, wie unter anderem der Anzahl und Dauer von Anrufen, Anzeichen von Stress abgeleitet werden [SP13]. Das Medium E-Mail scheint insbesondere relevant, weil ein Großteil der Kommunikation im Unternehmen nach wie vor über E-Mails abgewickelt wird [Ri13a]. Dabei kann die Anzahl ein- und ausgehender E-Mails analysiert werden.

Messung der Stressreaktion. Gekoppelt mit Stress ist beispielsweise die *Erhöhung des Herzschlags* [Ri13b]. Eine Möglichkeit die Herzschlagrate zu messen, ist die Nutzung eines Armbandes z.B. in Form eines Fitnessarmbandes oder einer Smartwatch [MAT13]. Eine *erhöhte Schweißproduktion* ist ein weiteres Anzeichen für Stress und kann über die steigende Hautleitfähigkeit gemessen werden [Di12]. Stress wirkt sich negativ auf die Feinmotorik aus, weshalb z.B. die Art der Ausführung von Eingabegesten zur *Steuerung des Smartphones*, der Druck auf den Bildschirm und die Anzahl der Rechtschreibfehler bei Texteingaben zur Stressmessung genutzt werden können. Außerdem ermöglichen Bewegungssensor und GPS die Messung der *physischen Aktivität* des Nutzers [CW16]. Als Stressor und gleichzeitig Stressreaktion kann *Schlafmangel* angesehen werden [Mu13]. Zur Messung von Schlaf kann eine Kombination verschiedener Sensordaten genutzt werden, z.B. Signale der Akzelerometrie und Herzfrequenz einer Smartwatch [PG16].

4 Anwendungsfälle für das stresssensitive Prozessmanagement

Im Folgenden wird anhand von Anwendungsfällen thematisiert, wie eine Stressmessung in die Gestaltung und Ausführung von Geschäftsprozessen integriert werden könnte (vgl. Tab. 1). Es wird dabei zwischen der Ebene der Prozessgestaltung (Buildtime) und der

Prozessausführung (Runtime) unterschieden. Die vorgeschlagenen Anwendungsfälle sind nach ihrem Grad der Beeinflussung der Prozessgestaltung ansteigend geordnet. Im Anwendungsfall 1 steht die Messung bei der Ausführung im Vordergrund, mit der Informationen über die Befindlichkeit der Mitarbeiter eingeholt werden. Im Anwendungsfall 2 sind auch präventive Maßnahmen enthalten. Im Anwendungsfall 3 soll das Stressaufkommen bereits auf Ebene der Prozessgestaltung durch Annotationen sichtbar werden. Im Anwendungsfall 4 steht die Gewinnung (ex post) von Best Practices in Bezug auf Stressvermeidung im Mittelpunkt. Mit dem Anwendungsfall 5 schließlich wird eine Gestaltung (ex ante) stressarmer Prozesse durch entsprechende Prozessmodelle fokussiert.

	Use Case	Motivation	Mögliche Forschungsfrage(n) (FF)
	Runtime-Ebene (Prozessausführung)		
1	**Stressmessung bei der Prozessausführung**	Stresserfassung ist zur Prävention gesundheitlicher Schäden wichtig.	**FF1.** Wie lässt sich die Stressbelastung durch Kombination von Daten mehrerer Sensoren zuverlässig erkennen u. quantifizieren? **FF2.** Welche Kontroll- und Korrekturmechanismen sind aus Nutzersicht wünschenswert?
2	**Stressmanagement bei der Prozessausführung**	Flexibilisierung und Digitalisierung der Arbeit schaffen Freiräume und Entgrenzung. Daher bedarf es eines Stressmanagements.	**FF3.** Welche Erkenntnisse können aus der Stressmessung gewonnen werden und wie können daraus relevante individuelle Verhaltenshinweise generiert werden? **FF4.** Wie können Führungskräfte die Verwendung von Selbstmanagementansätzen fördern?
	Buildtime-Ebene (Prozessgestaltung)		
3	**Annotation von Prozessmodellen mit Stressdaten**	Es existieren oft dokumentierte Modelle in Organisationen, aber es ist wenig bekannt, welche Abläufe Stress verursachen.	**FF5.** Wie kann die Stressmessung genutzt werden, um bestehende Modelle zu annotieren? **FF6.** Wie kann eine Annotation für neue Modelle ex ante durchgeführt werden? **FF7.** Welche Analysen sind auf Basis der Annotationen möglich?
4	**Prozessmuster zur Stressvermeidung**	Erfahrende Mitarbeiter haben (implizit) gute Arbeitsweisen und -reihenfolgen entwickelt.	**FF8.** Wie kann die Stressmessung genutzt werden, um stresslindernde Muster erfahrener Mitarbeiter zu identifizieren?
5	**Stressvermeidende Prozessmodelle**	Stress schon bei der Entstehung eindämmen, sodass auf Stressvermeidungsmaßnahmen bei der Prozessausführung verzichtet werden kann.	**FF9.** Inwiefern können die Daten der Stressmessung in die Prozessmodellgestaltung einfließen? **FF10.** Welche Mechanismen zur Stressvermeidung können in Prozesse integriert werden?

Tab. 1: Anwendungsfälle, Motivation und Forschungsfragen für das stresssensitive BPM

Zu jedem der Anwendungsfälle sind in Tab. 1 weiter eine Motivation sowie Forschungsfragen genannt. Querschnittig zu den genannten Forschungsfragen besteht des Weiteren noch die Frage, welche Genehmigungen und Einwilligungen die Analyse- und Messverfahren in Unternehmen bedürfen und wie der Betriebsrat wirkungsvoll eingebunden werden kann. Die Kontrolle über die Nutzung von Daten sollte grundsätzlich beim Individuum/Mitarbeiter liegen. Zudem sollten ethische und rechtliche Aspekte beachtet werden.

5 Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Beitrag wurde motiviert, dass eine Berücksichtigung von Stress in der Arbeitswelt von großer Relevanz ist, da stressbedingte Krankheiten und Fehlzeiten in den letzten Jahren stark zugenommen haben. Es ist damit auch im Interesse von Unternehmen, präventive Maßnahmen zur Verminderung von Stress und Burnout zu ergreifen, um langfristige Fehlzeiten und Verluste der Gesamteffektivität zu umgehen. Es wurde zunächst die Bedeutung von Stress für die Arbeitswelt und die Messung von Stress thematisiert. Anschließend wurde ein Bezug zum Prozessmanagement über fünf Anwendungsfälle hergestellt. Für jeden der Anwendungsfälle wurden mehrere Forschungsfragen formuliert. Der Beitrag liefert damit einen wichtigen Impuls und ein Rahmen zur Referenz für Wissenschaftler wie Praktiker gleichermaßen, um der Herausforderung von Stress in zukünftigen Prozessmanagementansätzen besser zu begegnen. Er hilft damit, einen Brückenschlag zwischen dem Phänomen der zunehmenden Arbeitsbelastung und der zunehmenden Durchdringung der Arbeitswelt durch IT zu schaffen.

Unsere zukünftige Forschung betrifft zum einen die Akzeptanz verschiedener Instrumente und Methoden zur Stressmessung durch Mitarbeiter. Hierzu sollen empirische Analysen erfolgen, um wissenschaftlich abgesicherte Aussagen zu erhalten, wie groß der Gestaltungsraum für stresssensitive Ansätze in konkreten Arbeitsszenarien wirklich ist. Zum anderen soll auch erforscht werden, wie die Daten dergestalt ausgewertet werden können, dass hilfreiche individuelle Ratschläge zur besseren Bewältigung der Arbeitsprozesse im Sinne eines „professionellen Selbstmanagements“ maschinell generiert werden können.

Literaturverzeichnis

[AEB09] Alarcon, G.; Eschleman, K. J.; Bowling, N. A.: Relationships between personality variables and burnout: A meta-analysis. Work & Stress 23 (3), 244-263, 2009.

[AOK16] AOK: Pressemappe 12. September 2016. Pressekonferenz zum Fehlzeiten-Report 2016, AOK-Bundesverband und Wissenschaftliches Institut der AOK, 2016.

[Bo14] Bogomolov, A.; Trento, I-P.; Lepri, B.; Pianesi, F.; Kessler, F. B.; Pentland, A. S.: Daily Stress Recognition from Mobile Phone Data, Weather Conditions and Individual Traits. In MM 2014: Proceedings of the 22nd ACM int. conf. on Multimedia, 477–486, 2014.

[CW16] Ciman, M.; Wac, K.: Individuals' stress assessment using human-smartphone interaction analysis. IEEE Transactions on Affective Computing PP (99), 1–14, 2016.

[DGB12] DGB-Index Gute Arbeit GmbH: Arbeitshetze - Arbeitsintensivierung - Entgrenzung. DGB, Berlin, 2012.

[Di12] Dimoka, A.; Davis, F. D.; Gupta, A.; Pavlou, P. A.; Banker, R. D.; Dennis, A. R.; Ischebeck, A.; Müller-Putz, G.; Benbasat, I.; Gefen, D.; Kenning, P. H.; Riedl, R.: On the Use of Neurophysiological Tools in IS Research: Developing a Research Agenda for NeuroIS. MIS Quarterly 36 (3), 679–702, 2012.

[Di16] Dillon, A.; Kelly, M.; Robertson, I. H.; Robertson, D. A.: Smartphone applications utilizing biofeedback can aid stress reduction. Frontiers in Psychology, 7 (JUN), 1–7, 2016.

[KS14] Kardous, C. A.; Shaw, P. B.: Evaluation of smartphone sound measurement applications. The Journal of the Acoustical Society of America 135 (4), EL186-192, 2014.

[LCG12] Lu, H.; Campbell, A. T; Gatica-perez, D.: StressSense: Detecting Stress in Unconstrained Acoustic Environments using Smartphones. In UbiComp'12: Proceedings of the 2012 ACM Conference on Ubiquitous Computing, 351–360, 2012.

[LS07] Litzcke, S. M.; Schuh, H.: Stress, Mobbing und Burn-out am Arbeitsplatz, 2007.

[LSW12] Lohmer, M.; Sprenger, B.; von Wahlert, J.: Gesundes führen: Life-Balance versus Burnout im Unternehmen. Schattauer Verlag, Stuttgart, 2012.

[MAT13] Muaremi, A.; Arnrich, B.; Tröster, G.: Towards Measuring Stress with Smartphones and Wearable Devices During Workday and Sleep. BioNanoScience 3 (2), 172–183, 2013.

[Mu13] Mu, L.; Chen, F.; Lane, N. D.; Cardone, G.; Wang, R.; Li, T.; Chen, Y.; Choudhury, T.; Campbell, A. T.: Unobtrusive Sleep Monitoring using Smartphones. In PervasiveHealth 2013: Proceedings of the 7th International Conference on Pervasive Computing Technologies for Healthcare and Workshops, 145–152, 2013.

[PG16] Pombo, N.; Garcia, N. M..: ubiSleep: An ubiquitous sensor system for sleep monitoring. In WiMob 2016: IEEE 12th International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications, 1-4, 2016.

[Ri11] Riechert, I.: Psychische Störungen bei Mitarbeitern. Ein Leitfaden für Führungskräfte und Personalverantwortliche. Springer-Verlag, Berlin, 2011.

[Ri13a] Richter, A.; Koch, M.; Schimek, I.; Kramer, M.: Vernetzte Organisation - Die Studie 2013. Univ. der Bundeswehr München, Forschungsgruppe Kooperationssysteme, 2013.

[Ri13b] Riedl, R.: Mensch-Computer-Interaktion und Stress. HMD - Praxis der Wirtschaftsinformatik 50 (294), 97–106, 2013.

[Sc12] Scharnhorst, J.: Burnout. Präventionsstrategien und Handlungsoptionen für Unternehmen. Haufe Verlag, Freiburg, 2012.

[SP13] Sano, A.; Picard, R. W.: Stress Recognition using Wearable Sensors and Mobile Phones. Humaine Association Conference on Affective Computing and Intelligent Interaction Stress, 2013.

[St15] Stütz, T.; Kowar, T.; Kager, M.; Tiefengrabner, M.: Smartphone Based Stress Prediction. Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics) 9146, 240-251, 2015.

[TK16] Techniker Krankenkasse: Entspann Dich, Deutschland. TK-Stressstudie, 2016.

[VT00] Vollrath, M.; Torgersen, S.: Personality types and coping. Personality and Individual Differences 29 (2), 367–378, 2000.

SENSYBLE – Smart Systems for Better Living Environments

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 873

Workshop 11: Smart Systems for Better Living Environments

Ralf Dörner[1], Uwe Brinkschulte[2], Marcus Thoss[2] and Adrian Ulges[2]

Rapid developments in information and communication technology (ICT) continue to change the way we work, communicate, and spend our leisure time. Future living environments will benefit greatly from the development of adaptive algorithms and systems that offer secure and transparent smart services. With communication, we denote the communication between technical systems as well as the communication between information and communication technology (ICT) and residents in private living quarters. To meet the challenges inherent in this research area, various disciplines of computer science are required, ranging from embedded systems, telecommunication, computational theory, cryptography, computer graphics and computer vision to artificial intelligence.

The SENSYBLE workshop 2017 brings together researchers and practitioners from various disciplines of computer science who work in the area of enhancing private living environments with information and communication technologies. It is organized by the SENSYBLE doctoral college, a joint research initiative by the Computer Science and Mathematics department of the Goethe-University / Frankfurt am Main and the department of Design, Computer Science, Media of the RheinMain University of Applied Sciences / Wiesbaden.

- Self-X properties (self-organization, self-configuration, self-optimization, self-healing, self-protection, self-integration)
- Cryptography for authenticity, integrity and anonymity
- Secure embedded systems
- Multi-modal data analytics
- Multisensor and evolutionary user interfaces and embodied interaction
- Visualization and usability aspects of self-organizing systems
- Internet of Things and Middleware for context-sensitive, adaptive services
- Engineering of distributed smart systems
- Software engineering and business aspects of smart system development
- Applications, e.g. intelligent assistive systems for health care

[1] Goethe-Universität Frankfurt am Main
[2] HS RheinMain Wiesbaden

doi:10.18420/in2017_87

Organization: Prof. Dr. Ralf Dörner[1], Prof. Dr. Uwe Brinkschulte[2], Marcus Thoss[2], Prof. Dr. Adrian Ulges[2]

Program Committee: Prof. Dr. Uwe Brinkschulte[1], Prof. Dr. Ralf Dörner[2], Prof. Dr. Martin Gergeleit[2], Prof. Dr. Bodo Igler[2], Prof. Dr. Reinhold Kröger[2], Prof. Dr. Detlef Krömker[1], Prof. Dr. Kai Rannenberg[1], Prof. Dr. Steffen Reith[2], Prof. Dr. Ulrich Schwanecke[2], Dr. Jetzabel Serna[1], Prof. Dr. Ulrike Spierling[2], Marcus Thoss, M.Sc.[2], Prof. Dr. Adrian Ulges[2]

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 875

On the Fingerprinting of Electronic Control Units Using Physical Characteristics in Controller Area Networks

Marcel Kneib[1] and Christopher Huth[2]

Abstract: More and more connected features, like up-to-date maps or car-to-car communication, are added to our vehicles. Besides comfort and environmental benefits, those connections also enable attackers to cause high damages, as Miller and Valasek had shown with their remote hack of a Jeep Cherokee [MV15]. The exploited vulnerability caused a recall of 1.4 million vehicles. Such attacks are possible since no security mechanisms and no sender information are present in the Controller Area Network. Unfortunately, classical cryptographic algorithms cannot be added easily, due to its small payload size. A promising opportunity to increase security is to exploit physical information included in the received messages by extracting fingerprints. These allow to identify the sender of received messages, what can enhance detection or prevention of attacks. In the following, we impart the needed background and give an overview of the two known approaches to expand the Controller Area Network with sender identification.

Keywords: In-Vehicle Network; CAN; Intrusion Detection System; Fingerprinting ECU; Security

1 Motivation

The growing expansion of mobile networks leads to the integration of Internet-based functionality into vehicles and its internal electronic architecture. With greater connectivity the number of functions increases, but also the disadvantages in security and thus in safety. Attackers can compromise Electronic Control Units (ECUs) and control the vehicle by injecting packets into the in-vehicle network [Ko10, MV13]. These disadvantages has been demonstrated by the work of Miller and Valasek [MV15]. They showed the first completely remote hack on a Jeep Cherokee, i.e. without having physical access, resulting in a recall of 1.4 million vehicles. Through the Internet-connected head unit of the car, they were able to get access to the Controller Area Network (CAN) and get control over the steering and the engine.

Additional attack surfaces (e.g. WiFi, Bluetooth) were analyzed and exploited by Checkoway *et al.* [Ch11] and Koscher *et al.* [Ko10], resulting in the same conclusion. Attacks on high safety relevant functions are possible in most cases when an attacker can send counterfeit CAN messages from hacked ECUs or additional alien devices. This is possible since CAN

[1] Bosch Engineering GmbH, Robert-Bosch-Allee 1, 74232 Abstatt, Germany, marcel.kneib@de.bosch.com
[2] Robert Bosch GmbH, Robert-Bosch-Campus 1, 71272 Renningen, Germany, christopher.huth@de.bosch.com

doi:10.18420/in2017_88

is a broadcast bus designed without considering security features [HKD08], allowing all participants broadcast transmission, without any possibility for the receiver to identify the sender. Unfortunately, applying Message Authentication Codes (MACs) or even Digital Signatures in an adequate way, may be infeasible due its extremely limited bandwidth and small payload of 8 bytes per message [LSV12, GM13].

Receiving these counterfeit messages results in critical threats for attached devices and potentially leading to failure of safety relevant functions. Due to high in-vehicular connectivity via distinct buses and gateways, other devices could also be compromised. Gateways are a worthy target for attacks, as they enable message forwarding from a less critical network to a safety relevant network.

To mitigate these vulnerabilities, there are only a few approaches, e.g. using information contained in the transferred signals or to identify the transmitter of received messages. Such techniques allow significant improvements for state-of-the-art Intrusion Detection Systems (IDS) [HKD08, MGF10] and to build secure next-generation CAN gateways verifying the authenticity of forwarded messages [WWP04].

The first technique is to identify transmitters using their clock skew, extracted from periodically occurring messages [CS16]. The idea is that each device is equipped with its own crystal oscillator and these happen to have a skew (e.g. oscillating faster or slower than a reference) with up to 2.4 seconds per day. These skews vary between different ECUs and can be used due to the absence of clock synchronization to distinguish the sender of periodically transmissions.

Another technique is to use the physical properties of the actual signal on the CAN bus, first proposed by Murvay and Groza [MG14]. Here, signals show minor differences in e.g. how quickly a rising edge is set, or how stable a signal is, while being suitable for sender identification. This approach was improved with supervised machine learning algorithms by Choi *et al.* [Ch16] in terms of a better sender classification.

Our contribution is a survey of the two approaches and their evaluation. In addition, we give an outlook on what research is necessary before such systems can be applied to in-vehicle networks.

The remainder of this paper is organized as follows. Section 2 provides information about the Controller Area Network and usage of classical cryptography mechanisms in CAN. In Section 3, the two approaches providing sender identification are described followed by their evaluation in Section 4. The last Section 5 gives a short conclusion and an outlook.

2 Background

2.1 The Controller Area Network

The Controller Area Network is a multicast-based communication protocol, designed in 1983 at Robert Bosch GmbH [Rob91], to replace the expensive and complex wiring scheme in vehicles. One of its main design criteria was to provide a robust transmission. The specification defines data rates from $10\,kbit/s$ to $1\,Mbit/s$. According to the standard, several ECUs are interconnected via two wires, identified as CAN_H and CAN_L, terminated with $120\,\Omega$ resistors. If a recessive bit "1" is present on the bus both wires show the recessive voltage of 2.5 V. When a dominant bit "0" is transmitted the high wire is driven towards 3.5 V and the low wire towards 1.5 V. The differential signal of these two wires represents the transmitted data.

A frame contains a unique 11 bit identifier, representing the frame priority and meaning, and maximal 8 bytes of payload. If a larger identifier is needed, the extended CAN format can be used, thereby increasing the frame by additional 20 bits, two as status bits and 18 bits for the extended identifier.

Since CAN is a multi-master bus each ECU can attempt to access the bus if it is detected idling. In the case of multiple ECUs trying to send their frames simultaneously, the ECU with the highest priority wins the arbitration and can send its frame. Within this arbitration each ECU starts its transmission while it is listening to the bus. If a device recognizes the dominant state while it has transmitted a recessive bit, it will stop immediately. The interrupted device will retry the transmission as soon as the higher prioritized frame was transmitted and the bus is again in idle state.

During the transmission of a frame additional contrary bits, called *stuff buts*, are inserted for synchronization purposes whenever five similar bits are transmitted successively.

2.2 Cryptography in CAN

Existing approaches [GM13, LSV12, VHSV11] try to adopt message authentication on the CAN bus, but it can not be applied easily. This is due to their additionally required resources or their sophisticated modifications.

The approach proposed by Herrewege *et al.* [VHSV11] is to use the CAN+ protocol [ZWT09], an improvement of the CAN protocol. Obviously, it is not practical to apply their approach without making soft- and hardware changes on each ECU.

The authors of [GM13, LSV12] provide message authentication by sending additional messages containing Message Authentication Code (MAC) tags, resulting in a higher bus load and thus to a reduction of available bandwidth. A system with a higher bus utilization

will have weaker communication performance or can be unschedulable. Since CAN is used for critical functions, the reduction of available bandwidth, especially in existing systems, has wide-ranging consequences. The in-vehicle communication systems are well-planned, including defined bandwidth reserves, in order to meet real-time and safety properties. To compensate the higher bus load, a redesign of the whole communication system will be necessary, which will lead to additional buses, a more sophisticated architecture and thus to additional costs. Furthermore, all affected ECUs need more resources to calculate and verify these MACs.

This drawback even holds for the usage of truncated MACs, included in the data field. It is recommended to use at least 64 bits for the MAC tag [Fed16] to ensure sufficient security and collision resistance, which corresponds to the maximum payload. Even if just 24 bits are used, the available payload and thereby the bandwidth will be reduced heavily.

Besides that, MACs do not provide non-repudiation and thus do not protect against counterfeit messages in general, since ECUs capable of verifying these MAC tags are also capable of tampering them. Non-repudiation using cryptographic algorithms can be applied if digital signatures are used. In comparison to MACs they use even more resources and thus are unusable for this purpose.

3 Existing Fingerprinting Approaches

3.1 Clock Skew

Each connected CAN device is equipped with its own quartz crystal clock, which is used to determine the specific moments in time, when periodically sent messages will be transmitted. Concerning distinctions present in these quartz crystals, each independent unsynchronized clock is afflicted with some deviations in comparison to another clock.

Cho *et al.* [CS16] are using these clock skews, to identify the sender of periodically received CAN frames. A periodically occurring message is transmitted every T ms, whereas T_i determines the timestamp of the i-th receiving. The interval ΔT_i between each receiving timestamp consists of $T+\Delta O_i+\Delta d_i$, where d_i denotes the network delay and O_i the difference in time of the transmitting and receiving device. ΔO_i and Δd_i are expected as 0, since the changes of O_i within one step are negligible and periodic CAN frames are constant over time. Thus, the expected timestamp interval can be expressed as $\mu_{\Delta T} = E[T + \Delta O_i + \Delta d_i] \approx T$.

Using the first timestamp and the average of timestamp intervals, $\mu_{\Delta T} \approx T$, the estimated arrival time of the i-th message is $i\mu_{\Delta T} + d_0$. The measured arrival time is $iT + O_i + d_i$. Using these two values, the average difference between the measured and the estimated value, $E[D]$, can be calculated by $E[i(T - \mu_{\Delta T}) + O_i + \Delta d_i] \approx E[O_i]$.

The clock offset $E[O_i]$ is distinct for different transmitters, slowly varying, $E[\Delta O_i] = 0$, and non-zero, $E[O_i] \neq 0$. The slope of the summed accumulated clock offset represents the clock skew, which is constant and thus usable for fingerprinting ECUs.

To recognize intrusions, a linear regression model $O_{acc} = S * t + e$ for a given identifier is determined using the accumulated clock offset, the elapsed time, the previous model and the recursive least squares algorithm. This step is started every N measurements during the operation. A detailed description of the algorithm can be found in [CS16].

The resulting identification error e of the model is then used to identify misbehavior. If no attack is present, the identification error of the model is almost 0, but much higher, if an intrusion is present. This holds, since the clock skew is almost constant and thus the accumulated offset O_{acc} is almost linear in time. Additionally, missing or hijacked messages result in changes of the parameter e, since the resulting accumulated offset does no longer fit the assumed linear model.

3.2 Signal Characteristics

Murvay and Groza [MG14] first mentioned the usability of inconsistencies in the analog signals to identify the sender of a received message. The variations are influenced by production tolerances and therefore are also present if two equal transceivers are used. These variations in the signal characteristic are constant over time, included in each message, caused by immutable physical properties and therefore usable to predict the sender of a message.

For this purpose, Choi *et al.* [Ch16] embed a fixed bit string into the extended identifier field of the CAN frame, which has to be in each message. The receiver of the message samples the signal, concrete the extended identifier, resulting in a variety of analog values. Next, eight time domain and nine frequency domain features are generated using these measurements. Among others, these features are several statistical values, like the mean, standard deviation, lowest and highest value. These 17 features together, extracted from one message, represent a fingerprint, which can be used for sender identification.

To assume the sender of a message, Choi *et al.* [Ch16] use a classification algorithm, which gets trained in a supervised machine learning environment using several previous recorded signals send from each relevant device. A classification algorithm is used to identify the class to which a new observation belongs. Choi *et al.* considered Support Vector Machine (SVM), Neural Network (NN) and Bagged Decision Tree (BDT) in their work. Once a classifier has been trained, it can be used to determine the class an observed fingerprint belongs to.

If a new fingerprint is present, the corresponding identifier is used to decide which device should be predicted by the classification algorithm. If the new fingerprint does not belong to the expected device, an attack is assumed. In this case, there are two different opportunities.

The fingerprint may belong to a known device, to which the identifier of the received message does not belong, indicating a hacked device. Otherwise, if the fingerprint does not belong to any known device, an unknown devices is assumed, what may be caused by an attached alien device.

4 Evaluation

4.1 Clock Skew

Cho *et al.* [CS16] evaluated their approach on a CAN bus prototype and real vehicles using three different attack models. First, the fabrication attack, where an attacker injects an additional forged message from a hacked device while the real device is still sending. As a result, the accumulated clock offset increases at the moment in which the additional message is present, which will also increase the identification error. The second attack model, the suspension attack, occurs when an attacker can persuade a device to stop its transmissions, e.g. by using diagnostic messages. Like in the first attack, the accumulated clock offset and the identification error will increase, due to the absent messages.

The third and most laborious attack is the masquerade attack, a combination of the fabrication and suspension attack. In this scenario, an attacker is able to cause a device to stop the transmission of a particular message and to prompt another device to send the message instead. The changes of the corresponding clock skew is recognizable and additionally a correlation with another clock skew can be used to estimate the origin of the attack.

Cho *et al.* [CS16] evaluated the false alarm rates of their approach using approximately 2.25 million messages recorded in 30 minutes from the real vehicle. Four datasets, containing 300 intrusions, were produced this way. With their clock skew-based approach they were able to detect all anomalies with a false positive rate of 0.055 %. Further improvements, detailed in [CS16], can be used to eliminate all false positives.

4.2 Signal Characteristics

Choi *et al.* [Ch16] evaluated their approach using twelve CAN development boards, where each device produced 900 fingerprints at a baudrate of 500 kBd. The measurements were taken by a 2.5 GS/s oscilloscope and analyzed using MATLAB.

The classification rates, which are used to predict the belonging of a fingerprint vary between 83 % and 100 %, whereby the highest misclassification rate is 13.22 % for the SVM, 14.44 % for the NN with 100 hidden nodes and 14.22 % for the BDT with 100 classifiers. These rates are obviously only available for known devices. Unknown devices are assumed if all classification rates for a given fingerprint are below some threshold. Identifying unknown devices works for SVM with an Equal Error Rate (EER) of 0 and for the BDT with an ERR of 0.005.

4.3 Comparison

The biggest limitation of the clock skew approach is its inability of monitoring aperiodic messages, since the clock skew is extracted from periodic occurring messages. For the same reason, it is only possible to identify the device on which the attack is mounted if the intrusion can be observed for a longer time. Further, the linear model is always updated after N measurements. If the number of needed measurements is too large, an attacker may reach his goal before the intrusion is detected.

The limitations of the approach using signal characteristics are the extended frame format, since it increases the bus load, what may has wide ranging consequences as mentioned in Section 2.2. Furthermore, each device needs a software update to implement the extended identifier, which is only possible if it is not used for its original purpose. Besides that, the variations of the signal characteristics are contained in the whole frame, not just in the extended identifier field. For this reason, these information should be used instead of an additional special purpose field.

5 Conclusion

Fingerprinting ECUs on CAN could improve the security of in-vehicle networks significantly, since attacks on vehicles are often only possible as an attacker gets access to the internal vehicle communication. Especially for the Controller Area Network, these technologies constitute a promising opportunity to increase its security and thus safety, since adding classical cryptographic mechanisms is only limited applicable.

Both approaches have its advantages and disadvantages. The clock skew-based approach does not need special hardware nor software modifications, but is only usable for periodic messages. The approach using signal characteristics is applicable for both, aperiodic and periodic messages, but needs expensive hardware extensions for measurements.

As a general result, fingerprinting ECUs promise an interesting method of identifying the sender of in-vehicle messages. For both approaches more research is necessary before it is suitable for safety critical systems. It must be clarified how reliable both approaches are, especially how difficult it is to circumvent the clock-based approach. For the signal characteristic-based approach, it is necessary to test the operational capability in a real vehicle and to find a way to use the normal CAN frame instead of an additional fixed bit string.

References

[Ch11] Checkoway, S.; McCoy, D.; Kantor, B.; Anderson, D.; Shacham, H.; Savage, S.; Koscher, K.; Czeskis, A.; Roesner, F.; Kohno, T.: Comprehensive Experimental Analyses of

Automotive Attack Surfaces. In: Proceedings of the 20th USENIX Conference on Security. SEC'11, USENIX Association, Berkeley, CA, USA, pp. 6–6, 2011.

[Ch16] Choi, W.; Jo, H. J.; Woo, S.; Chun, J. Y.; Park, J.; Lee, D. H.: Identifying ECUs Using Inimitable Characteristics of Signals in Controller Area Networks. CoRR, abs/1607.00497, 2016.

[CS16] Cho, K.; Shin, K. G.: Fingerprinting Electronic Control Units for Vehicle Intrusion Detection. In: 25th USENIX Security Symposium (USENIX Security 16). USENIX Association, Austin, TX, pp. 911–927, 2016.

[Fed16] Federal Office for Information Security. TR-02102-1 Cryptographic Mechanisms: Recommendations and Key Lengths, October 2016.

[GM13] Groza, B.; Murvay, S.: Efficient Protocols for Secure Broadcast in Controller Area Networks. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 9(4):2034–2042, Nov 2013.

[HKD08] Hoppe, T.; Kiltz, S.; Dittmann, J.: Security Threats to Automotive CAN Networks – Practical Examples and Selected Short-Term Countermeasures. In: Computer Safety, Reliability, and Security: 27th International Conference. Springer Berlin Heidelberg, pp. 235–248, 2008.

[Ko10] Koscher, K.; Czeskis, A.; Roesner, F.; Patel, S.; Kohno, T.; Checkoway, S.; McCoy, D.; Kantor, B.; Anderson, D.; Shacham, H.; Savage, S.: Experimental Security Analysis of a Modern Automobile. In: 2010 IEEE Symposium on Security and Privacy. pp. 447–462, May 2010.

[LSV12] Lin, C. W.; Sangiovanni-Vincentelli, A.: Cyber-Security for the CAN Communication Protocol. In: 2012 International Conference on Cyber Security. pp. 1–7, Dec 2012.

[MG14] Murvay, P. S.; Groza, B.: Source Identification Using Signal Characteristics in Controller Area Networks. IEEE Signal Processing Letters, 21(4):395–399, April 2014.

[MGF10] Müter, M.; Groll, A.; Freiling, F. C.: A structured approach to anomaly detection for in-vehicle networks. In: 2010 Sixth International Conference on Information Assurance and Security. pp. 92–98, Aug 2010.

[MV13] Miller, C.; Valasek, C.: Adventures in Automotive Networks and Control Units. In: Defcon 21. 2013.

[MV15] Miller, C.; Valasek, C.: Remote Exploitation of an Unaltered Passenger Vehicle. In: Defcon 23. 2015.

[Rob91] Robert Bosch GmbH. CAN Specification v2.0, 1991.

[VHSV11] Van Herrewege, A.; Singelee, D.; Verbauwhede, I.: CANAuth - A Simple, Backward Compatible Broadcast Authentication Protocol for CAN bus. In: ECRYPT Workshop on Lightweight Cryptography 2011. 2011.

[WWP04] Wolf, M.; Weimerskirch, A.; Paar, C.: Security in automotive bus systems. In: Workshop on Embedded Security in Cars. 2004.

[ZWT09] Ziermann, T.; Wildermann, S.; Teich, J.: CAN+: A new backward-compatible CAN protocol with up to 16× higher data rates. In: Design, Automation & Test in Europe Conference & Exhibition, 2009. DATE'09. IEEE, pp. 1088–1093, 2009.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 883

Locating an Acoustic Source Using Low-Cost Hardware

Melanie Brinkschulte[1]

Abstract: The availability of cheap but powerful sensors and signal processing hardware allows the solution of problems, which previously could only be solved at high costs and efforts. In this paper we describe an approach to locate an acoustic sound source by three low cost microphones and operational amplifiers in combination with a simple microcontroller using its embedded analog/digital converters. There are several applications, e.g. the detection of the direction and distance of a police car by the sound of its siren or the location of a speaking person by an assistance robot in a household. The complete real-time analog/digital signal processing chain using cheap hardware is in the focus of this approach. By deriving an approximate solution for the location equations, the approach becomes suitable for low-cost microcontrollers.

Keywords: Sound Source; Location; Low-Cost Hardware

1 Introduction

The availability of cheap but powerful sensors and signal processing hardware allows the solution of problems, which previously could only be solved at high costs and efforts. Therefore, research in the field of cyber-physical systems has also largely benefited from this progress in hardware. To combine and fuse sensor data with limited hardware resources and to process this data with sufficient accuracy is a major challenge. In this paper we describe an approach to locate an acoustic sound source by three low cost microphones and operational amplifiers in combination with a simple microcontroller using its embedded analog/digital converters. There are several applications, e.g. the detection of the direction and distance of a police car by the sound of its siren or the location of a speaking person by an assistance robot in a household. The complete real-time analog/digital signal processing chain using cheap hardware is in the focus of this approach.

The paper is structured as follows: After the introduction and motivation, the basic ideas and conceptions are presented in section 2. Section 3 describes the overall architecture and the processing software of our approach. Section 4 presents the evaluation results. In section 5, related work is described while section 6 concludes this paper.

[1] Goethe University Frankfurt am Main, Computer Science Department, Robert-Maier-Str. 11-15, 60325 Frankfurt am Main, Germany MelanieBrinkschulte@t-online.de

doi:10.18420/in2017_89

2 Basic Conception

The basic idea to localize an acoustic sound source is to measure the phase shift between microphones placed at different locations, as shown in Figure 1. The measured phase shift can be transformed to the distance difference Δl between the microphones according to the following formula:

$$\Delta l = \tau \cdot v_{Sound} \tag{1}$$

To allow an exact unambiguous localization, the minimum microphone configuration is shown in Figure 2. To determine the flat coordinates (x, y) of the sound source location in a plane, at least two measured distance differences Δl_1 and Δl_2 are needed for a unique solution of the resulting equation system. Thus, three microphones are necessary. Furthermore, the three microphone should not be placed along a single axis because the mirrored solutions in front and back of this axis could not be distinguished. According to Figure 2, the following equations have to be solved to determine the position of the sound source:

$$x^2 + y^2 = l^2 \qquad (x+d)^2 + y^2 = (l + \Delta l_1)^2 \qquad (x+d)^2 + (y+d)^2 = (l + \Delta l_2)^2$$

Unfortunately, the exact solution of this equation system is rather complex and not well

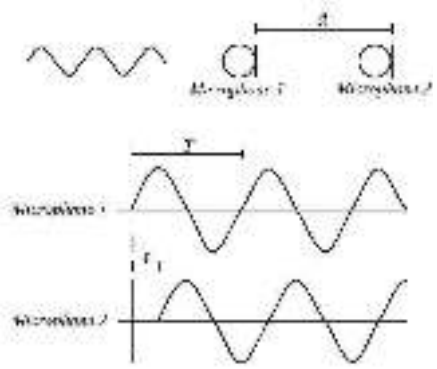


Fig. 1: Phase shift as the basic principle of distance measurement

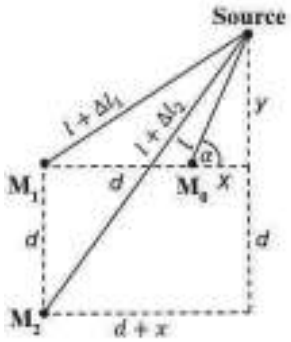


Fig. 2: Position of three microphones

suited for the target platform, a small and cheap microcontroller (see [Br16] for the exact solution). Therefore, a less complex approximation has been found. Figure 3 sketches how to approximate the angle of the sound source in relation to two microphones. For larger distances, the following approximations $\overline{M_0X} \approx \overline{H_0X}$ and $\overline{M_1X} \approx \overline{H_1X}$ hold true. Using Trigonometry, the following equations can be derived:

$$\overline{H_0Z} = \overline{H_1Z} = \frac{d}{2} \cdot \cos(\alpha) \Rightarrow \Delta l \approx \overline{H_1X} - \overline{H_0X} = d \cdot \cos(\alpha) \Rightarrow \alpha \approx \arccos\left(\frac{\Delta l}{d}\right) \tag{2}$$

To decide the quality of this approximation, we can compare the Δl given by (2) with the exact solution[2] for Δl derived from Figure 3:

[2] It is easy to exactly calculate Δl from α; however, the reverse calculation of α from Δl is rather complex

$$\Delta l = \sqrt{\left(l \cdot cos(\alpha) + \frac{d}{2}\right)^2 + (l \cdot sin(\alpha))^2} - \sqrt{\left(l \cdot cos(\alpha) - \frac{d}{2}\right)^2 + (l \cdot sin(\alpha))^2}$$

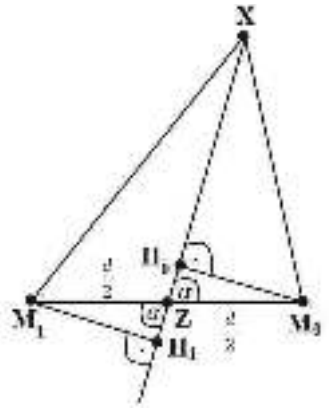


Fig. 3: Angle approximation using 2 microphones

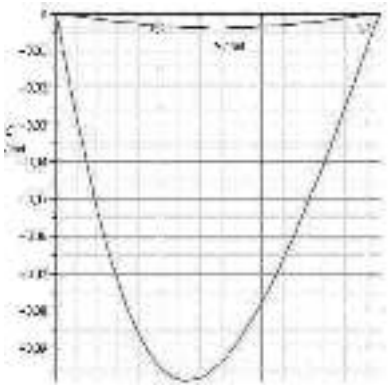


Fig. 4: Angle imprecision caused by the approximation

Using this equation we can calculate the exact value for Δl for a given angle α and then calculate the approximated value for α using equation (2). The difference of the two angles gives the angle imprecision. Figure 4 shows this imprecision examplarily for two distances of $l = 1$ meter (blue curve) and $l = 0.2$ meter (red curve). The microphone distance d has been chosen to 0.245 meters[3]. It shows the angle imprecision is rather small and acceptable for larger distances. Even at the small distance of 0.2 meters the maximum angle imprecision is about 0.1 rad (5.7°).

The above approximation can be used to calculate the angle of the sound source. However, the distance cannot be calculated. Furthermore, there exists a second solution that is mirrored along the axis of the two microphones. Both issues can be solved using again the L-shaped 3 microphone configuration as shown in Figure 5. The distance can be calulated by triangulation using two approximated angles α_1 and α_2. This leads to the following equations[4]:

[3] This is the microphone distance of our experimental setup used for the evaluation

[4] The special cases ($\alpha_1 = 90°$, $\alpha_2' = 90°$) produce simple solutions (($x = \frac{d}{2}$, $y = \tan(\alpha_2') \cdot \frac{d}{2} - \frac{d}{2}$), ($x = 0$, $y = -\frac{d}{2} \cdot \tan(\alpha_1)$)). The special case $\alpha_1 = \alpha_2' = 45°$ produces no solution.

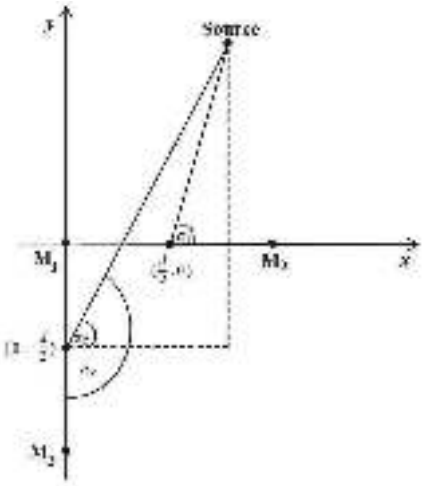


Fig. 5: Distance approximation using 3 microphones

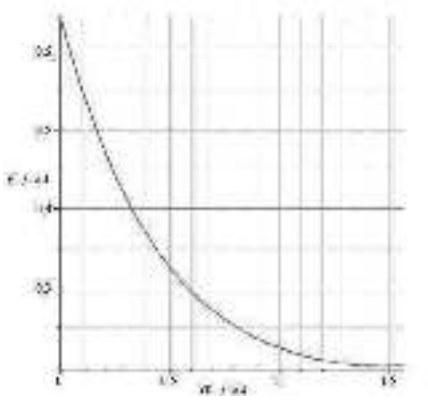


Fig. 6: Angle imprecision caused by a distance imprecision of 5 cm

$$y = \tan(\alpha_1) \cdot x - \tan(\alpha_1) \cdot \frac{d}{2} = \tan(\alpha_2') \cdot x - \frac{d}{2} \tag{3}$$

$$x = \frac{d}{2} \cdot \frac{\tan(\alpha_1) - 1}{\tan(\alpha_1) - \tan(\alpha_2')} \tag{4}$$

$$l_{M1} = \sqrt{x^2 + y^2} \tag{5}$$

The mirror solution issue for α_1 can be solved by examining Δl for α_2 from equation (2). If this value is below zero, α_1 is correct. Otherwise, we have to negate α_1 (the mirror solution is true)[5]. The same applies for α_2 by examining Δl for α_1.

3 Overall Architecture and Processing Software

Figure 7 shows the overall architecture. To achieve the desired low-cost solution, a simple ATMega128 microcontroller[At11] has been used. The signal of the three microphones is sampled and converted by the integrated 10 Bit AD-converters of the microcontroller. The sampled data is collected in a buffer in real-time. The processing to retrieve the direction and distance of the sound source is then performed on this buffer. This concept detaches the time-sensitive data sampling from the computing-sensitive processing part.

[5] This applies only if the sound source is not located within the triangle given by the three microphone positions. However, in our experimental setup the three microphones form a single L-shaped rack of 0.245 meters side length. So the sound source cannot be located there.

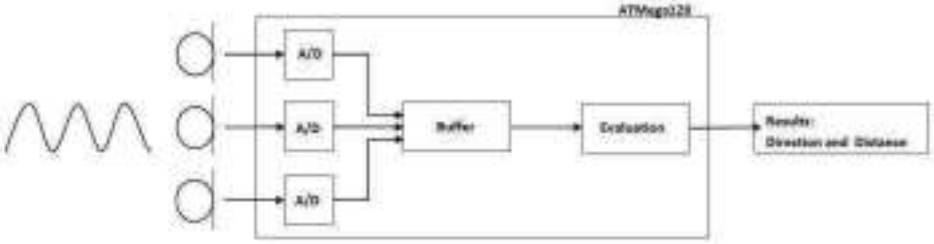


Fig. 7: Overall architecture

A classical approach to determine the phase shift between signals is the cross-correlation function [RG75]. For discrete real-valued functions it calculates to:

$$R_{xy}(\tau) = \sum_{\forall i} x(i) \cdot y(i + \tau)$$

The cross-corellation function calculates the similarity of two functions by different time shifts τ. If two function only differ by a time shift the cross-correlation function delivers a maximum value at this time-shift. However, the calculation of the cross-correlation function is complex. The computational complexity is $O(n^2)$, where n is the number of sampled values. To keep the calculation simple, a different approach has been used. The basic idea is to detect the zero-crossings of two signals and thereby determining their time shifts. This approach only produces the complexity $O(n)$, which is more suitable for the small microcontroller used. Furthermore, by using interpolation for the zero-crossing, the accuracy can be improved. The processing software consists of the following parts:

- *Minimum/maximum calculation of the sampled signal data*
  This is used to detect failures like signal clipping or a too low signal level.
- *Zero-level detection*
  To determine the zero-crossing of the sampled microphone signals, the zero-level for each microphone has to be calculated. This is done by averaging the sampled data values for each microphone[6].
- *Phase shift calculation*
  Using the detected zero levels, the phase shifts τ_1 and τ_2 between the microphones M_0, M_1 and M_1, M_2 (see Figure 5) are calculated. To increase accuracy, linear interpolation was used between the two values directly below and above the zero-level.
- *Calculation of the distance differences*
  Based on the phase shifts τ_1 and τ_2, the corresponding distance differences Δl_1 and Δl_2 are calculated using equation (1).

[6] An alternative approach would be to use the maximum/minimum values to calculate the zero-level. However, in our experiments the averaging approach has performed better.

- *Angle calculation*
  The angles α_1 and α_2 are calculated according to equation (2) and corrected as described to respect the possible mirror solution.
- *Distance calculation*
  The distance from microphone M_1 is calculated using equation (5).

4 Evaluation

To evaluate our approach, we have conducted several experiments. In this paper, we present the most important results. For more detailed information, see [Br16]. Firstly, the angle detection has been evaluated. The sound source has been placed at various angles and distances from the L-shaped microphone array. The upper part of Table 1 shows the result for a target angle of $\alpha_1 = 0°$. This means the sound source has been located in front of the microphone at an angle of 0° for α_1 at four different distances (40 cm, 55 cm, 100 cm, 150 cm). Of course, the corresponding target angle α_2 is distance-dependent and therefore slightly different for each of these distances (110°, 108°, 104°, 99°). Each measurement has been repeated three times and compared with the target values. It can be seen that the maximum inaccuracy for α_1 is 25°, while the maximum inaccuracy for α_2 is only 4°. The middle part of Table 1 shows the results for $\alpha_1 = 135°$ at the distances 20 cm, 50 cm, 100 cm and 150 cm. Here, the inaccuracy for both angles α_1 and α_2 is 14° at maximum.

All conducted experiments have shown that the measurement precision is best for angles close to 90° and decreases towards 0° and 180°. This behavior can also be explained mathematically. Looking at equation (2), the gradient of arctan is highest for angles towards 0° and 180° and therefore most sensitive to measurement imprecisions. Close to 90°, the gradient is lowest and therefore most tolerant to such imprecisons. Using equations (2), the angle inaccuracy α_{inacc} in relation to α, the measurement imprecicison for Δl (Δl_{innac}) and the microphone distance d can be calculated to:

$$\alpha_{inacc} = \left| \alpha - \arccos\left(\frac{d \cdot \cos(\alpha) + \Delta l_{innac}}{d} \right) \right|$$

Figure 6 shows the behavior of the angle inaccuracy for the microphone distance of our setup (0.245 meters) and an assumed measurement imprecison Δl_{innac} of 5 cm. It confirms the highest imprecisions for 0° (and 180° respectively) and a very low imprecision for 90° (= 1.57rad). The L-shape of our microphone array guarantees that at least one of the two angles α_1 and α_2 is in the range of low imprecision. Therefore, our approach performs very good at direction detection.

For distance detection, the results are different. Here, both angles are necessary and mostly one angle is the high imprecision range. Therefore, distance measurement is more sensitive to measurement inaccuracies. The lower part part of Table 1 confirms this assumption. The sound source has been placed in an angle of $\alpha_1 = 90°$ in four different distances (32

cm, 52 cm, 100 cm and 150 cm). Each measurement has been repeated 3 times and the computed values have been compared to the target distances. The table shows that, even though most of the values are quite precise, the possible measurement error can also be large. Exemplarily, the third measurement for the distance of 100 cm is nearly four times the real value. This is caused by an angle imprecision of only 10° in α_2. It can be seen that already small angle imprecisions can lead to large distance imprecisions. To sum it up, while the direction detection works very well the distance measurement is more an estimation than a precise result.

Target α_1	Measured α_1			Target α_2	Measured α_2			Distance
0	0	25	20	110	113	111	114	40
0	15	14	11	108	110	111	112	55
0	0	0	0	104	102	102	101	100
0	8	0	0	99	101	100	99	150
135	123	127	127	-135	-149	-148	-146	20
135	126	130	128	-135	-144	-145	-145	50
135	131	132	133	-135	-138	-139	-141	100
135	130	130	128	-135	-138	-140	-137	150

Target distance	Measured distance			Target distance	Measured distance		
32	43	51	48	52	49	45	50
100	77	79	375	150	92	99	137

Tab. 1: Evaluation results for angle and distance measurement (angles in degree, distances in cm)

5 Related Work

There exist several approaches dealing with the problem of sound source localization. These approaches are either hybrid solutions (combining radio and acoustic signal runtime [MB08]), based on an amplitude analysis of the acoustic signal or on phase shift detection like the approach presented in this paper. Since hybrid solutions are out of focus and the approaches based on amplitude analysis mostly deliver poor results [To76], we will exemplarily present two approaches using phase shift detection. [To76] focuses on the locatization of defects in materials by an array of three acoustic sensors. The basic idea is that defects in materials cause runtime differences of acoustic waves. The localization is done similar to the exact mathematical approach presented in the beginning of Section 2. Therefore this solution is very complex and suffers from ambiguities. This is the reason why we rely on an aproximation. Furthermore, the sound source should be placed in the triangle given by the acoustic sensors (inside measurement), while in our approach the sound source is located outside this triangle (outside measurement). Additionally, [To76] only deals with the geometric problem while techniques to detect the underlying phase shifts are not in the focus of this paper. [SMM97] presents an acoustical localization in three-dimensional space using crosspower phase-spectrum-analysis. This approach mainly focuses on detecting phase shifts. The geometric problem is of low relevance in this paper.

A main goal is the localization of a speaker in a room. Similar to [To76], but different to our approach it is supposed that the sound source is located within the space spanned by the microphones. 8 microphones have been used for the experiments. Furthermore, the spectral and correlation analysis require much more computational power than our approach.

6 Conclusions

This approach has investigated the possibilities to locate an acoustic sound source using low-cost hardware. The mathematical analysis and evaluation results have shown that the direction of the sound source can be detected with good precision. The distance measurement is more imprecise and is rather an estimation than a precise measurement. However, for the envisioned field of application like detecting the siren of a police car or a speaking person by an assistance robot, the direction detection is more important than the distance measurement. An assistance robot for example needs precise direction information for steering towards a person while for distance measurement an estimation is usually sufficient. Stopping in front of the person is mainly handled by obstacle detection sensors like supersonic range finders, laser scanners or cameras. However, it is possible to improve the distance measurement. One possiblity is to increase the measurement accuracy for the phase shift by increasing the sampling frequency. This would require the use of external analog/digital converters, since we have already used the maximum sample frequencey of the internal converters of the microcontroller for our experiments. Another possibility is to use more microphones. Using e.g. a T-shaped array of four microphones or two L-shaped arrays of three microphones each would allow to get two angles in high precision range and therefore a more precise distance calculation. This will be the topic of future work.

References

[At11] Atmel: ATMega128 and ATMega128L Datasheet, Atmel Cooperation, http://www.atmel.com/images/doc2467.pdf. June 2011.

[Br16] Brinkschulte, Melanie: Ortung einer sinusförmigen Schallquelle mithilfe eines Mikrocontrollers, Bachelor Arbeit, Fachbereich Informatik und Mathematik, Goethe Universität Frankfurt am Main. April 2016.

[MB08] Mühlberger, C.; Baunach, M.: Tab WoNS: Calibration Approach for WSN based Ultrasound Localization Systems, 7. GI/ITG KuVS FG Drahtlose Sensornetze. September 2008.

[RG75] Rabiner, Lawrence R.; Gold, Bernard: Theory and Application of Digital Signal Processing, Prentice-Hall. 1975.

[SMM97] Svaizer, P.; M.Matassoni; M.Omologo: Acoustic Source Location in a Three-Dimensional Space Using Crosspower Spectrum Phase, ICASSP-97 IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing. 1:231–234, April 1997.

[To76] Tobias, A.: Acoustic-Emission Source Location in Two Dimensions by an Array of Three Sensors, Non-Destructive Testing, Elsevier Publishers. Februar 1976.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 891

A Dense Statistical Model of Facial Soft Tissue Thickness

Thomas Gietzen[1], Robert Brylka[1], Ulrich Schwanecke[1] and Elmar Schömer[2]

Abstract: Ambient intelligence become more and more ubiquitous and help people achieving a more natural interaction with their electronically enhanced environment. One vital natural interface between humans and ambient intelligence are embodied conversational agents. Thereby, the acceptance of these virtual characters is all the greater, the more natural they look and behave. Since humans pay particular attention to the face, a natural-looking animation of the face is very important. In this paper we present a dense statistical model of facial soft tissue thickness that can be used to build accurate physics-based facial animations. The presented model not only can help to generate more natural facial animations of virtual characters but also can be used in other research domains such as forensic anthropology or medicine. Especially in the field of dentistry and orthodontics in particularly younger people and children are increasingly examined using X-ray technology. Thereby more and more volumetric images are generated, which further increase cost as well as the induced radiation dose. Here, for example, our statistical model can provide the basis for a new volumetric reconstruction process of a human's facial bones in a cost-effective manner and with low radiation exposure.

Keywords: 3D volume registration; ambient intelligence; conversational agents; facial soft tissue thickness; lateral cephalogram; medical imaging; statistical model

1 Introduction

Facial soft tissue thickness (FSTT) is determined by measuring the distance between the skin surface and the underlying skull bones. FSTT plays an important role in medical diagnosis and therapy. A thorough review of soft tissue depth studies and their applications is given by [SS08]. Soft tissue depth studies are based on a variety of measurement techniques such as needle puncture, ultrasound, computed tomography (CT) or magnetic resonance imaging (MRI). Thereby, besides the different measurement technics the variation of the direction in which FSTT is measured (based on the normals on the bones or skin surfaces or oriented towards other soft tissue features) have led to greatly varying results which are hard to compare. Additionally, most medical studies determine and use FSTT only at various predefined medical landmarks.

Beside medicine, statistics about FSTT can be used in forensic anthropology for craniofacial reconstruction, i.e. for reconstructing the morphology of a particular face, if only a skull is

[1] RheinMain University of Applied Sciences, Design Computer Science Media, Unter den Eichen 5, 65195 Wiesbaden, firstname.surname@hs-rm.de
[2] Johannes Gutenberg-University Mainz, Institute of Computer Science, Staudingerweg 9, 55099 Mainz, schoemer@informatik.uni-mainz.de

doi:10.18420/in2017_90

given or in physics-based facial animation of virtual characters that can serve as embodied conversational agents. Thereby, it is important to have a dense map of the FSTT and not only information about some predefined medical landmarks. Further, a dense statistical model of the FSTT is used to determining a coarse volumetric reconstruction of the human's facial bones having only an optical face scan as input.

In this paper we present an approach for the automatic generation of a dense statistical model of the FSTT based on CT data of the human head. We generate the statistical model by registering a volumetric template model of the skull[3] into each CT data set and determine the FSTT for any vertex of the template skull. Previous approaches to register a template skull into CT data, such as [SK15] concentrate on aligning the upper and back part of the skull (neurocranium). They are not appropriate to register the fine structure of the facial bones. Our main contribution is a dense statistical model of FSTT based on a new method for fine registration of a template skull to the facial bones of a skull extracted from CT data.

2 Generating a volumetric model from a single lateral cephalogram

Beside the generation of physics-based facial animations of virtual characters, we are interested in a new method for determine the exact surface of the facial bones with minimal radiation exposure. Thereby, we will use three main inputs (see fig. 1): a) a single lateral cephalogram, b) an optical face scan, and c) the statistical model of the FSTT.

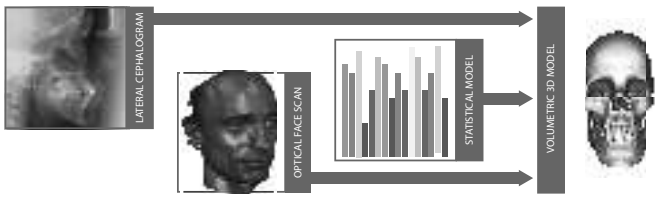


Fig. 1: Low radiation exposure based volumetric reconstruction process.

A lateral cephalogram (LC) is an X-ray taken from the side of a patient. It is usually used to determine the relationship between top and bottom jaw (maxilla and mandible), i.e. to assess the nature of a patient's bite. A LC has only minimal perspective distortions and therefore contains suitable information about the soft tissue thickness on the facial midline.

Optical face scanning provides an exact 3D model of the skin surface. While various commercial solutions such as *Agisoft PhotoScan* or *Autodesk Recap* exist to generate 3D spatial data from a variety of digital images, we use a self-developed passive scanning system tailored to the requirements of our reconstruction process [Gr17].

The two measurements described above (lateral cephalogram and face scan) are not sufficient to reconstruct the facial skull. Thus, in order to reconstruct the facial skull, we will later combine both information using the dense statistical model of FSTT presented in this paper.

[3] Based on the model `www.turbosquid.com/3d-models/3d-human-skull/691781`

3 Generating a dense statistical model

The construction of the statistical model is based on CT data sets of the human head. An overview of the data processing pipeline is depicted in figure 2. It starts with a preprocessing step normalizing the information in the CT data and extracting triangular meshes of the skin surface and the skull. Next, a volumetric template skull is registered into this data. This results in a fine registered template skull. Finally, the mean and standard deviation of the FSTT of all vertices of the template skull based on the Hausdorff distance between the deformed template skulls and each of the extracted skin surfaces is determined.

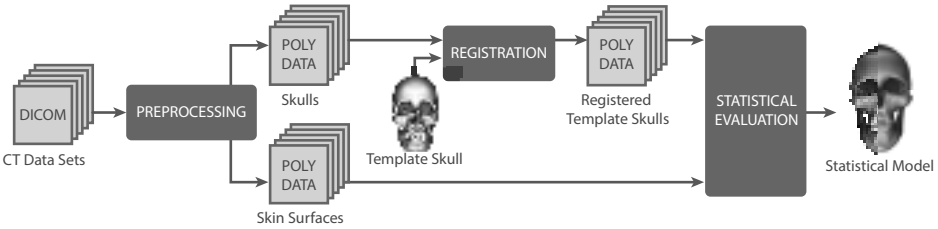


Fig. 2: Processing pipeline for generating the statistical model of FSTT.

3.1 Preprocessing the CT data sets

To extract exact polygonal meshes of the skin surface and the skull from a given CT data set of the head a preprocessing step is needed. In this step the data is cropped below the mandibular bone. In order to determine the CT slice containing the most inferior point of the mandibular (see figure 3) we first smooth each slice and then generate a binary image with a threshold representing bones in Hounsfield units. Next, we choose the slice s_j with $j = \arg\max_{i=2,\ldots,\#slices} |y_i - y_{i-1}|$ where y_i is the number of the first non-zero row in slice number i and add an offset to include the skin surface of the chin.



Fig. 3: Determination of the cropping position based on detection of the mandibular bone.

Once we found the cutting slice and cropped the volumetric data, we extract polygonal meshes of the skin surface and the skull using the Marching Cubes algorithm [LC87]. The skull mesh is cleaned from unwanted parts such as the spin using a connectivity filter with seed points being the first appearance of bone structure in the CT data sets representing the cranium and the found point on the mandibular bone. Finally all skull meshes are decimated

to a common point density, surface normals are generated and internal bone structures are removed by determining all vertices that are not visible from the outside of the skull.

3.2 Template skull registration

The registration of the template skull to an extracted skull consists of two main stages: 1. an initial rigid transformation of an extracted skull to the template skull and 2. an elastic transformation in which we deform the template skull into the extracted one.

Initial alignment

The initial alignment of the template skull with the CT data starts with a coarse registration step using the Fast Global Registration (FGR) algorithm presented in [ZPK16]. We choose this algorithm as a global alignment approach because it does not need an initialization step and works well on noisy and only partially overlapping 3D surfaces.

Figure 4a shows the template skull (white) and an extracted skull (cyan) in initial position (defined by the CT) and the correspondences between the candidate matches. As depicted in figure 4b the FGR algorithm provides already a very good alignment. Nevertheless, we perform a second alignment step applying a rigid transformation with standard ICP, which results in a significant improvement of the alignment quality as shown in figure 4c.



Fig. 4: Initial alignment steps: a) original configuration given by CT position, b) registration with FGR algorithm, c) ICP based refinement.

Deformation

In the second stage we perform a fine registration of the template skull into the extracted skull. Therefore, we morph our template skull into the extracted skull using ShapeOp [De15]. ShapeOp is a physics solver that integrates a variety of constraints especially projective constraints, dynamics and handle-based shape space exploration. ShapeOp can be used with a variety of geometry representations as point clouds, polygon meshes or tetrahedral meshes. To simulate the volume of the skull bones we use a tetrahedral mesh representation of our template skull as an input to the solver. The deformation steps based on weighted correspondences between points on the tetrahedral mesh and points which are on or close to the extracted skull. The weighting determines how strongly a point correspondence

effects the deformation. Figure 5 shows our deformation pipeline, which consists of several deformation steps with different approaches to find point correspondences.

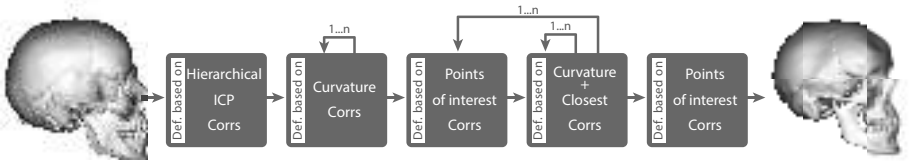


Fig. 5: Deformation pipeline with various approaches for correspondence search.

Closest (curvature) point correspondences. Point correspondences between meshes which are already close to each other can be determined based on the distance between points. Especially for complex shapes such as the facial skull this approach often leads to false correspondences. We therefore extend the correspondence search with additional constraints depending on the deformation step. Generally speaking, we restrict the search by a maximum distance and a minimum normal deviation constraint.

In the primary deformation steps where the meshes are far apart we additionally restrict the candidates for closest correspondence to points with high curvature value (closest curvature correspondences). Figure 6a shows the correspondence matches for curvature points (for the sake of clarity only the mandible is displayed). Nevertheless these constraints do not prevent wrong correspondence matches as shown in 6c and 6d. In addition, we check any estimated closest curvature correspondence match for their similarity given by a Fast Point Feature Histogram [RBB09] (FPFH). A FPFH encodes geometrical properties in a point k-neighborhood by generalizing the mean curvature around this point and provide more information than the normals deviation check. With this constraint it is possible to limit wrong correspondences as visualized in 6e.



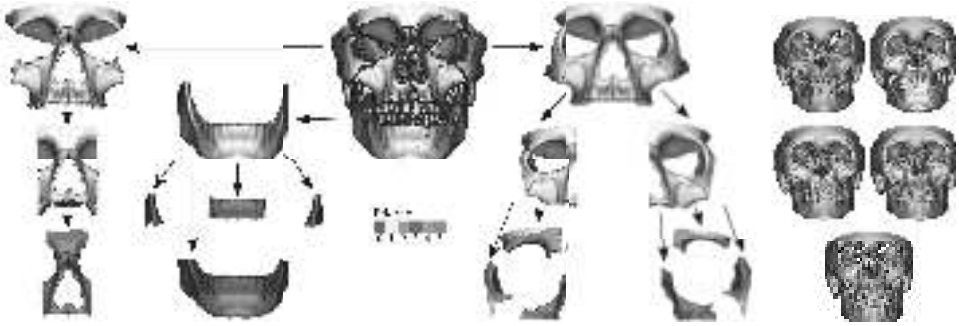
(a) (b) (c) (d) (e)

Fig. 6: Closest curvature correspondences: a) example of correspondence matches for points with high curvature value; b),c),d) correspondence mismatch on a challenging part as the mandible foramen; e) correspondence mismatch elimination with a FPFH similarity check.

Unfortunately, after initial alignment some parts of the template skull are still too far away from an extracted skull for a closest point correspondence search which hampers a good deformation. Thus, we introduce a new hierarchical approach to reliably determine point correspondences.

Hierarchical ICP correspondences. In order to find more correct correspondences for the first deformation step we introduce a hierarchical ICP approach fitting individual parts of the template skull. As shown in 7a (middle) we use the template skull without the skullcap (calvaria) since most of the CT data sets do not include this part. We register the hierarchically divided parts into the extracted skull using a similarity transformation. Since the smallest parts in our hierarchy might include overlapping sections we additionally provide a priority list for any point and use only the points with highest priority. Figure 7a shows a few examples of the hierarchical divided parts and demonstrates the priority coding for the five priorities going from yellow for low priority up to red for high priority. Dark gray marks the additional priority zero which excludes points from being considered in the deformation step at all.

The priority of any point is used as a weight in the following deformation step. Figure 7b shows an example of the result for the hierarchical ICP fitting the orbit parts. Since the topology between the tetrahedral representation and the template skull parts is not the same we compute the correspondences using the closest point constraint, considering only points whose curvature value is greater than a defined threshold (figure 7a blue colored points). Based on these correspondences we perform the first deformation step. After this step we continue with an additional closest curvature correspondence search between template skull and extracted skull and subsequent deformations based on those correspondences.



(a) (b)

Fig. 7: Hierarchical ICP: a) overview of the facial skull bones hierarchy used by the correspondence search, b) example of the hierarchical registration for the orbit parts.

Points of interest correspondences. Even the described FPFH constraint can not prevent for inaccurate correspondence matches which lead to excessive mesh distortion after a few deformation steps (see figure 8a, b). To prevent this shape degradation we introduce a deformation step based on predefined points of interest (see figure 8). After one deformation step with our hierarchical ICP approach and several deformation steps based on closest curvature correspondences we use our undeformed volumetric template skull and deform it into the current interim result. Figure 8d shows a close view of the mandible part and the correspondence matches based on the points of interest. Figure 8e depicts the result of the

deformation step based on this approach. With this deformation step we get a deformed template which is a little less aligned to the extracted skull but much smoother than it was after the deformation step before (see figure 8f). We perform this deformation step several times during the deformation pipeline considering more and more points of interest in every iteration as colored encode in figure 8c and finally use all points in the last deformation step.

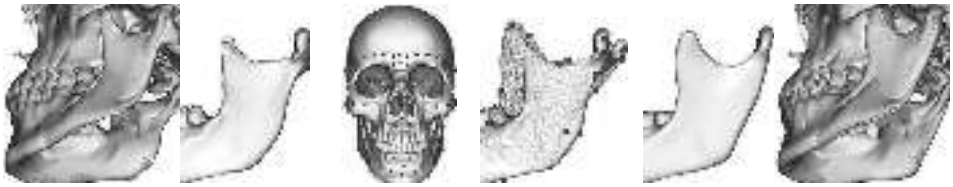


Fig. 8: Points of interest correspondences: a) interim result of template registration, b) mesh distortion at the mandibular notch, c) points of interest used for correspondence search, d) correspondence matches between an undeformed template (wireframe) and a distorted one, e), f) result of the deformation based on points of interest.

Dense statistical model

In order to determinate the FSTT we calculate the Hausdorff distance between the deformed template skull and the extracted skin surface for each data set. We create the statistical model by computing a mean skull based on all deformed skulls and determine the mean and the standard deviation of the Hausdorff distances for any point of the deformed template skulls. Currently, our statistical model is based on 40 different Caucasians (23 males and 17 females) with a mean age of 28. The age of the subjects vary between 17 and 35 years[4].

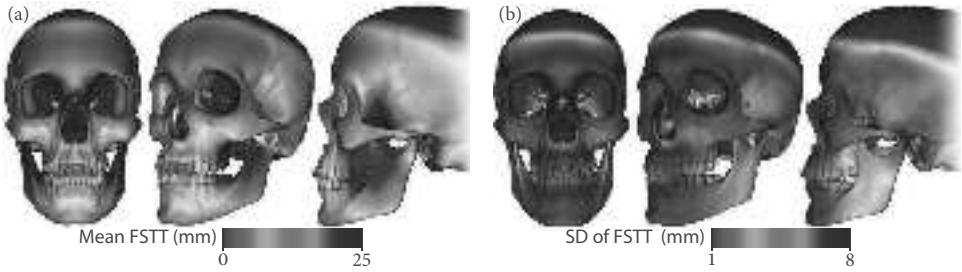


Fig. 9: Statistical model of the FSTT on a mean skull: a) Mean FSTT, b) Standard deviation.

A skull with color encoded mean and standard deviation of soft tissue thicknesses is depicted in figure 9. The statistics for predefined landmarks used in literature is shown in figure 10.

[4] This work is funded by the Federal Ministry of Education and Research (BMBF), grant No. IngenieurNachwuchs 03FH029IX5. We gratefully acknowledge the Department of Diagnostic and Interventional Radiology, University Medical Center of the Johannes Gutenberg University Mainz, Germany for providing us with the DICOM-data.

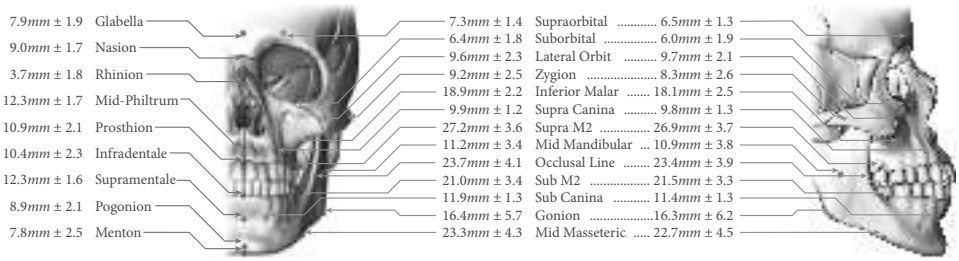


Fig. 10: Mean and standard deviation values of FSTT on predefined medical landmarks. Note that all measurements fall into the range presented in [SS08].

4 Conclusion and Future Work

We presented a method to generate a dense statistical model of the FSTT based on CT data and a volumetric skull template. Thereby, the values obtained on predefined medical landmarks (see figure 10) match the measurements presented in [SS08]. Next, together with medical experts, we will carefully examine the accuracy of our model. We will also use the statistics to gain more accurate physics-based facial animations and to combine a single lateral cephalogram and a face scan to obtain a volumetric reconstruction of the facial skull as described in section 2.

References

[De15] Deuss, Mario; Deleuran, Anders Holden; Bouaziz, Sofien; Deng, Bailin; Piker, Daniel; ; Pauly, Mark: ShapeOp—A Robust and Extensible Geometric Modelling Paradigm. Springer International Publishing, Cham, 2015.

[Gr17] Gruenewald, Torben: Multikamera Gesichtsrekonstruktion. Master's thesis, RheinMain University of Applied Sciences, 2017.

[LC87] Lorensen, William E.; Cline, Harvey E.: Marching Cubes: A High Resolution 3D Surface Construction Algorithm. SIGGRAPH '87, ACM, New York, NY, USA, pp. 163–169, 1987.

[RBB09] Rusu, Radu Bogdan; Blodow, Nico; Beetz, Michael: Fast Point Feature Histograms (FPFH) for 3D Registration. In: Proceedings of the 2009 IEEE International Conference on Robotics and Automation. ICRA'09, IEEE Press, Piscataway, NJ, USA, pp. 1848–1853, 2009.

[SK15] Sahillioğlu, Yusuf; Kavan, Ladislav: Skuller: A volumetric shape registration algorithm for modelling skull deformities. Medical image analysis, 23(1):15–27, 2015.

[SS08] Stephan, Carl N.; Simpson, Ellie K.: Facial Soft Tissue Depths in Craniofacial Identification (Part I): An Analytical Review of the Published Adult Data. Journal of Forensic Sciences, 78(6):1257–1272, 2008.

[ZPK16] Zhou, Qian-Yi; Park, Jaesik; Koltun, Vladlen: Fast Global Registration. In: ECCV 2016. pp. 766–782, 2016.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 899

VCIT – Visually Corrected Inertial Tracking

Daniel Andrés López[1] Benedikt Diensberg[1] Elmar Schömer[1] and Ulrich Schwanecke[2]

Abstract: Many smart systems depend on exact models of their environment. These are gained by tracking objects in their surroundings. When a highly precise system is only available for a small part of the environment, it can be enhanced with a second system to recover the unknown parts. This paper presents a method to recover loss of a precise (optical) tracking system by a less precise (inertial) tracking system. First the rotation from the inertial measurement unit (IMU) and the optical system are aligned. A second step integrates the IMU acceleration two times and removes both times the drift by known initial and end values (first integration: velocity, second integration: position) from optical tracking. The error is backpropagated continuously.

Keywords: Sports, Visual Interial Tracking, Sensor Fusion, IMU

1 Introduction

An important part of smart electronic systems is their ability to locate objects exactly. This enables the system to generate an accurate model of a specific environment. Based on this model, the system can interact with users within this environment in a natural way. For example, it can seamlessly react to changes in the position and orientation of objects or in gestures of various persons, just as people interact with each other.

In this paper we present a method for combining two different tracking systems in a way that their respective advantages complement each other. More specifically, our approach can recover the loss of a precise (optical) tracking system using a less precise (inertial) tracking system. We discuss our method demonstrating the tracking of a golf club in an exemplary way. Since the head of a golf club can move very fast, tracking a golf swing can be a difficult task which makes it a good test scenario. We divide the golf swing in two regions: One small area around the point where the club hits the ball (main action) and the up-/down-swing.
Those two regions will be tracked with different tracking systems. In this paper we will focus on optical and inertial tracking.

[1] Computational Geometry Research Group, Institute of Computer Science, Johannes Gutenberg University Mainz, Staudingerweg 9, 55122 Mainz, Germany,
{daniel.andres, diensberg, schoemer}@uni-mainz.de
[2] Computer Vision and Mixed Reality Group, Department of Design, Computer Science and Media, RheinMain University of Applied Sciences, Unter den Eichen 5, 65195 Wiesbaden, Germany, ulrich.schwanecke@hs-rm.de

doi:10.18420/in2017_91

Optical tracking methods often use standard cameras. Current optical tracking methods can estimate the pose of an object captured by rgb cameras [TSS16]. Beside the marker-less methods many marker based systems exist, for example [Tj15]. It captures an active marker with infrared LEDs with a single camera and calculates the transformation from the marker coordinate system to the camera coordinate system. Tracking with an inertial measurement unit (IMU) on the other hand can track motions of any size. But pose estimation contains drift, which accumulates through the two integration steps. In order to avoid this drift, knowledge about the expected motion can be used. The algorithm shown in [NL16] is based on human gaits to reset the drift to zero by setting the velocity in stationary phases to zero. But the existence of zero-phases cannot be guaranteed in general motions. Alignment to the earth frame is necessary to separate the earth acceleration from object acceleration. Therefore the orientation can be obtained by a Kalman filter [LVB99, Ma01] or analytical methods [HM06, MHV11].

To overcome the flaws of those systems there are several approaches for combining them. This is often called visual inertial tracking. In [LS13] the optical tracking system is used to stabilize the IMU measurements and obtain a more precise pose estimation. The paper discusses two different approaches based on Extended Kalman Filter (EKF) and shows the advantage of single IMU based tracking. [KS11] describes a method to calibrate a fixed sensor array of an IMU and a camera to be usable for common measurements. Instead of EKF they employ an Unscented Kalman Filter (UKF) because of its superior performance and higher accuracy on highly nonlinear systems. This is also shown in [JS11], who uses it to measure accurate poses in a simultaneous localization and mapping (SLAM) application. SLAM algorithms are often used in robotics. Another approach in improving SLAM algorithms with IMU data is described in [MAT17]. They use the IMU data for a frame by frame prediction of the camera poses.

But all these approaches require constant measurements from the optical system. For many applications the field of view of a camera is often too small, especially in confined spaces. So these systems can only be used to track the main action, but not the full movement. We propose a setup, where the main action is tracked by a precise tracking system, here optical tracking, and the full motion is recovered with an IMU. Instead of zero-phases we use the information of the optical system during common measurements to minimize integration errors.

Accelerometer measurements always contain gravitational acceleration, which has to be subtracted to get the pure acceleration of the tracked object. Therefore knowing the direction of the gravitational vector is essential for getting only the acceleration of movements. Common approaches use Kalman Filters to calculate the orientation relative to the earth frame (so the gravitational vector points downwards). This is shown in [LVB99, Ma01, Be14]. Additional to Kalman Filter fusion of the components of an inertial measurement unit there exist non linear complementary filters. The most common ones are [MHP05, MHV11]. Those algorithms are also called Attitude Heading Reference System (AHRS). The idea is based on analytical reconstruction of the orientation instead of stochastic models like in

Kalman Filter approaches. In this paper the AHRS described by [MHV11] is used to obtain the orientation relative to the earth frame by accelerometer and gyroscope data. It can be used to know the direction of the gravitational vector. There is no information how the IMU is located in the earth magnetic field. This information can be estimated with an additional magnetometer to refine the results.

2 Camera enhanced IMU pose estimation

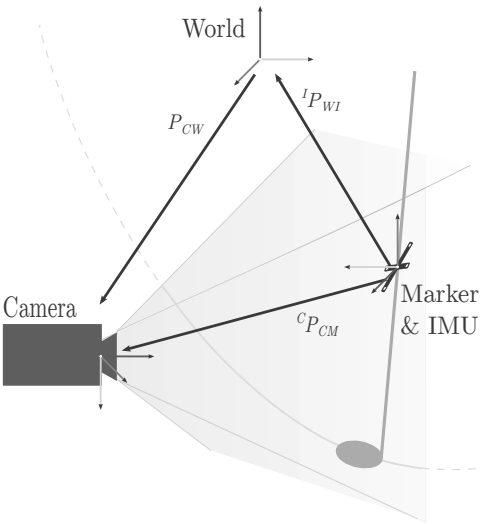


Fig. 1: Overview of system and transformations

In order to get a full 3D reconstruction of the movement it is necessary to combine both measurement systems. The IMU measurements will be received over the whole time, but they are less precise than the measurements from the optical system. The optical system will not cover the whole movement and therefore when the tracking is lost, the IMU data will be used.

To simplify the readability we only use homogenous matrices and vectors, so we can multiply them easily. In the following we will denote the tracking system that recorded a value as a raised index in front of the value (C = camera, I = IMU) and as a lowered index after the value its coordinate system (C = camera, W = world, M = marker, I = IMU) and the time. If it is a transformation between coordinate systems we denote those as a double index of target system and start system (CM = marker to camera, . . .).

Figure 1 shows an overview of the used transformations/poses (position and orientation $P \in SE(3)$). For this paper we presume we get poses, ${}^{C}P_{CM,t}$, of the tracked marker from the camera system relative to the camera coordinate system at time t as in [Tj15]. We also presume the camera and the IMU data are synchronised. Furthermore we assume for simplicity that the translational T_{MI} and rotational R_{MI} offset between IMU and tracked marker can be neglected, therefore they equal the identity matrix.

In this paper we will focus on the phase where camera tracking is lost and only the IMU data is available, as well as a few common measurements of both systems immediately before and after this phase.

Let ${}^{C}P_{CM,0}$ be the last camera pose before tracking is lost and ${}^{C}P_{CM,n}$ the first pose after tracking is regained. Where a pose P is a tuple of a translational vector T and a rotation R: $P = (R, T)$.

An IMU measures angular velocity ω and acceleration a relative to the world coordinate system W, which is defined by the first IMU measurement. Let $({}^{I}\omega_{W,0}, {}^{I}a_{W,0})$ be the last IMU measurement before the optical tracking is lost and $({}^{I}\omega_{W,n}, {}^{I}a_{W,n})$ the first after the optical tracking is recovered. And let $({}^{I}\omega_{W,t}, {}^{I}a_{W,t})$ for $t \in \{1,\ldots,n-1\}$ respectively be the IMU measurements while the camera tracking is lost. To acquire the poses for the IMU measurements we first calculate the orientations ${}^{I}R_{WI,t}$ with the algorithm described by [MHV11] from accelerometer and gyroscope data. To compare both system we have to consider the same poses in different measurement systems. The optical system provides ${}^{C}P_{CM}$, the IMU pose ${}^{I}P_{CM}$ has to be constructed with our proposed algorithm. First we calculate the registration. The translational part will be applied in the second integration step by setting the initial ${}^{I}T_{CM,0}$ to ${}^{C}T_{CM,0}$. The rotational registration $R_{CW,0}$ from IMU world into camera system is calculated by:

$$R_{CW,0} = {}^{C}R_{CM,0} \cdot R_{MI} \cdot {}^{I}R_{WI,0}^{-1} \tag{1}$$

With the registration $R_{CW,0}$ we can transform the orientations ${}^{I}R_{WI,t}$ from the IMU system into the camera coordinate system:

$${}^{I}R_{CM,t} = R_{CW,0} \cdot {}^{I}R_{WI,t} \cdot R_{MI}^{-1} \tag{2}$$

Before we can use the measured accelerations from the IMU we need to subtract the gravitational vector g, as mentioned above. In the origin of the IMU coordinate system the gravitation applies only on the z-axis, so the gravitational vector becomes $g = (0, 0, 9.81)^{\top}$ $[m/s^2]$ (T^{-g} is g as homogenous matrix with negative gravitation). With ${}^{I}R_{WI,t}^{-1}$ we rotate the acceleration to this system, subtract the gravitation and rotate back:

$${}^{I}a_{C,t} = R_{CW,0} \cdot {}^{I}R_{WI,t} \cdot {}^{I}T^{-g} \cdot {}^{I}R_{WI,t}^{-1} \cdot {}^{I}a_{W,t}^{g} \tag{3}$$

Since we want to know the accelerations in the camera coordinate system C, we apply the rotational registration $R_{CW,0}$ which contains the rotation from IMU world to camera system. The accelerations can now be used to calculate the velocities with the known IMU measurement frequency f and the velocities from the camera tracking:

$${}^{I}v_{C,t} = {}^{I}v_{C,t-1} + {}^{I}a_{C,t} \cdot 1/f \qquad \text{with } {}^{I}v_{C,0} = {}^{C}v_{C,0} \tag{4}$$

Finally these can be used to get the positions from the IMU data:

$${}^{I}T_{CM,t} = {}^{I}T_{CM,t-1} + {}^{I}v_{C,t} \cdot 1/f \qquad \text{with } {}^{I}T_{CM,0} = {}^{C}T_{CM,0} \tag{5}$$

From that we get the resulting IMU poses:

$${}^{I}P_{CM,t} = ({}^{I}T_{CM,t}, {}^{I}R_{CM,t}) \tag{6}$$

The biggest problem of IMU data is their drift, which accumulates to a considerable amount even during the short periods, where we lose the camera tracking. To correct for that we can calculate the drift error as the difference between the first common measurements of IMU and camera after the camera tracking is regained. We then use backpropagation of the error to correct the previous data of the IMU-only measurement. In (4) we calculated the velocities ${}^{I}v_{C,t}$ from the IMU accelerations. Afterwards with the velocities ${}^{C}v_{C,n}$ from the camera data the velocity drift error results as $vde_{C,n} = {}^{I}v_{C,n} - {}^{C}v_{C,n}$. For the drift we assume it took effect in the same direction for the whole measurement. Furthermore we presume the drift error increases equally over time. These assumptions are based on our experiments with a stationary IMU. So we can estimate the drift error for the IMU data simply by linear interpolation between the starting error 0 and $vde_{C,n}$. Thus the corrected IMU velocities are:

$$ {}^{cor}v_{C,t} = {}^{I}v_{C,t} - \frac{t}{n} vde_{C,n} \tag{7} $$

The IMU positions will now be calculated by ${}^{corr}v_{C,t}$ instead of ${}^{I}v_{C,t}$ in equation (5). But they still contain drift errors. We can estimate these errors in a similar way to the velocities' drift errors: We know the exact poses from the camera data after the IMU-only phase, so we can again calculate the difference transformation P_{dif} with

$$ T_{dif} = {}^{I}T_{CM,n} - {}^{C}T_{CM,n} \tag{8} $$

$$ R_{dif} = {}^{I}R_{CM,n} \cdot {}^{C}R^{-1}_{CM,n} \tag{9} $$

Now we can propagate this error back over the previous poses with linear interpolation and correct them to get the final poses ${}^{corr}P_{CM,t}$:

$$ {}^{cor}T_{CM,t} = {}^{I}T_{CM,t} - \frac{t}{n} T_{dif} \tag{10} $$

$$ {}^{cor}R_{CM,t} = {}^{I}R_{CM,t} \cdot slerp(I, R_{dif}, {}^{t}/_{n})^{-1} \tag{11} $$

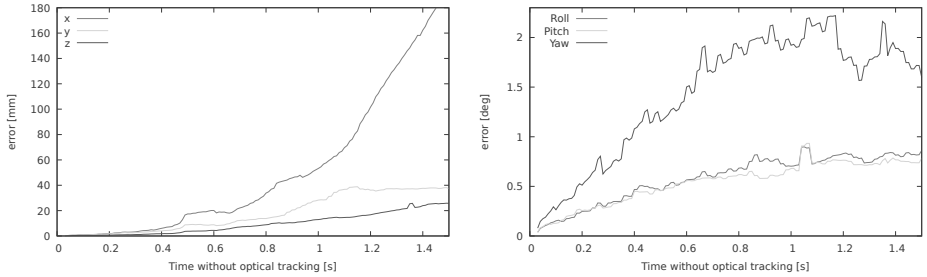
For linear interpolation of rotations we used spherical linear interpolation (slerp) on their quaternion representation. In these calculations we used only the last and first common pose before and after the IMU-only phase as base for the pose corrections. Since the camera system measures also noisy poses, we recommend for real world applications to use several poses instead for higher stability.

3 Evaluation

This paper uses a prototype setup of the optical tracking system HSRM-Tracking [Tj15] and a LP-Research LPMS-B2 IMU[3]. The HSRM-Tracking requires an active LED marker. The IMU and the marker are rigidly connected to a golf club, so that the translational offset is as

[3] https://www.lp-research.com/lpms-b2/

low as possible. The camera is placed about 1m away, looking at the marker. The algorithm is made to overcome tracking loss of the high precision system by using the less precise system. But to compare the result the whole movement is measured with both systems and the loss of tracking is simulated (the movement will not cover a full swing to be able to stay inside the field of view of the camera system). The experiments include 20 different swings for evaluation. Some with less noise while the club is hooked up and swings like a pendulum, some with hand movement of the club and some with real golf swings, each over a length of approximately 1m. The error is calculated as difference from estimated IMU to optical poses. To evaluate the individual errors the rotational and translational parts are compared separately along their components. Here only the dynamic root mean squared error (RMSE) is calculated, because the algorithm applies the drift correction by using information of the current movement. The static scenario is already shown in [NL16]. Figure 2 shows the average position error and the average rotation error. The time without optical tracking gives the amount of seconds to recover the pose with IMU data. As we analyse a swing, this area is located around the highest phase of the swing.



(a) Average dynamic RMSE for positions (b) Average dynamic RMSE for rotations

Fig. 2: Average of 20 experiments. Dynamic RMSE error against the time where poses have to be estimated by IMU data. Ground truth data is the optical pose.

Figure 2a shows the error grows as the time without optical tracking increases. The error for the x-value grows much faster than the other two components. Which is expected, since the main movement was along the x-axis. Analysing single experiments shows the error maximum is at the highest phase of the swing, the minima at the start and end points. Although there are two drift correction steps the drift is not eliminated fully. This could indicate that the correction method itself is not optimal yet. Figure 2b shows rotational errors. Roll and pitch errors grow reasonably slow. But yaw error shows unreliability in its direction. On the other hand when no drift correction is applied the error grows much faster: At a loss of 1s the difference to the reference data on the x-axis for example is about 1m without correction, whereas with correction only about 40mm over a swing of 1m, similarly on the other axes.

4 Conclusion and Future Work

We showed the modification of the algorithm derived in [NL16] is also suitable for estimating poses from IMU measurements. Additional to the proposal it is necessary to eliminate drift, after gaining velocities and after calculating positions. Drift correction at one stage does not remove all bias errors. The test results have shown that the registration of IMU and optical marker is not necessary, as long as both systems are located as close as possible, so that they can be assumed to be at the same place. Although registration of the translation between both systems increases accuracy. The rotational registration can be easily done live during each experiment.

This paper interpolates the error for the drift correction with a linear function. Because the error is quadratic due to double integration the error backpropagation also should be quadratic. This could lead to better performance at the direction change of the swing phase. Also it has to be considered that pose correction after the second integration step is currently done separately for position and orientation. A backpropagation from a single $SE(3)$-group element could lead to better results. This can be achieved for example with dual quaternion representation. Additionally the drift can be backpropagated in the same manner with accelerations. Another idea is to get a live processing algorithm by calculating drift rates before the tracking is lost and then apply drift correction directly. Further investigation has to show if statistical models can be generated and applied later on. A dedicated learning phase can be useful to get drift rates in all directions and when direction changes. This phase would require both systems. Beside the drift correction optimizations the integration steps can also be improved. More accurate methods involve more predecessors to yield a better result. This paper only discusses correction of IMU pose estimation by an optical tracking system. On the other hand the IMU can be used to improve the optical tracking, this is called Visual Inertial Tracking.

References

[Be14] Bergamini, E.; Ligorio, G.; Summa, A.; Vannozzi, G.; Cappozzo, A.; Sabatini, A.: Estimating Orientation Using Magnetic and Inertial Sensors and Different Sensor Fusion Approaches: Accuracy Assessment in Manual and Locomotion Tasks. Sensors, 14(10):18625–18649, October 2014.

[HM06] Hamel, T.; Mahony, R.: Attitude estimation on SO[3] based on direct inertial measurements. In: IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA). pp. 2170–2175, May 2006.

[JS11] Jones, E. S.; Soatto, S.: Visual-inertial navigation, mapping and localization: A scalable real-time causal approach. The International Journal of Robotics Research, 30(4):407–430, April 2011.

[KS11] Kelly, J.; Sukhatme, G. S.: Visual-Inertial Sensor Fusion: Localization, Mapping and Sensor-to-Sensor Self-calibration. The International Journal of Robotics Research, 30(1):56–79, January 2011.

[LS13] Ligorio, G.; Sabatini, A.: Extended Kalman Filter-Based Methods for Pose Estimation Using Visual, Inertial and Magnetic Sensors: Comparative Analysis and Performance Evaluation. Sensors, 13(2):1919–1941, February 2013.

[LVB99] Luinge, H. J.; Veltink, P. H.; Baten, C. T. M.: Estimation of orientation with gyroscopes and accelerometers. In: First Joint BMES/EMBS Conference 1999. volume 2, p. 844, October 1999.

[Ma01] Marins, J. L.; Yun, X.; Bachmann, E. R.; McGhee, R. B.; Zyda, M. J.: An extended Kalman filter for quaternion-based orientation estimation using MARG sensors. In: IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. volume 4, pp. 2003–2011, 2001.

[MAT17] Mur-Artal, R.; Tardós, J. D.: Visual-Inertial Monocular SLAM with Map Reuse. IEEE Robotics and Automation Letters, 2(2):796–803, April 2017.

[MHP05] Mahony, R.; Hamel, T.; Pflimlin, J. M.: Complementary filter design on the special orthogonal group SO(3). In: 44th IEEE Conference on Decision and Control. pp. 1477–1484, December 2005.

[MHV11] Madgwick, S. O. H.; Harrison, A. J. L.; Vaidyanathan, R.: Estimation of IMU and MARG orientation using a gradient descent algorithm. In: IEEE International Conference on Rehabilitation Robotics. pp. 1–7, June 2011.

[NL16] Nguyen, L. V.; La, H. M.: A human foot motion localization algorithm using IMU. In: American Control Conference (ACC). pp. 4379–4384, July 2016.

[Tj15] Tjaden, H.; Schwanecke, U.; Stein, F.; Schömer, E.: High-Speed and Robust Monocular Tracking. In: 10th International Conference on Computer Vision Theory and Applications (VISIGRAPP). pp. 462–471, 2015.

[TSS16] Tjaden, H.; Schwanecke, U.; Schömer, E.: Real-Time Monocular Segmentation and Pose Tracking of Multiple Objects. In: Computer Vision – ECCV 2016. Lecture Notes in Computer Science, volume 9908. Springer, Cham, pp. 423–438, 2016.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 907

Deep Convolutional Neural Networks for Pose Estimation in Image-Graphics Search

Markus Eberts[1], Adrian Ulges[2]

Abstract: Deep Convolutional Neural Networks (CNNs) have recently been highly successful in various image understanding tasks, ranging from object category recognition over image classification to scene segmentation. We employ CNNs for pose estimation in a cross-modal retrieval system, which - given a photo of an object - allows users to retrieve the best match from a repository of 3D models. As our system is supposed to display retrieved 3D models from the same perspective as the query image (potentially with virtual objects blended over), the pose of the object relative to the camera needs to be estimated. To do so, we study two CNN models. The first is based on *end-to-end learning*, i.e. a regression neural network directly estimates the pose. The second uses *transfer learning* with a very deep CNN pre-trained on a large-scale image collection. In quantitative experiments on a set of 3D models and real-world photos of chairs, we compare both models and show that while the end-to-end learning approach performs well on the domain it was trained on (graphics) it suffers from the capability to generalize to a new domain (photos). The *transfer learning* approach on the other hand handles this domain drift much better, resulting in an average angle deviation from the ground truth angle of about 14 degrees on photos.

Keywords: pose estimation; image retrieval; deep learning; transfer learning

1 Introduction

Deep Learning – a major current trend in machine learning research – refers to the application of neural networks with multiple layers. Such networks have been particularly successful in various image understandings tasks, be it object category recognition [Ru15], gaze estimation [Zh15] or the segmentation of road scenes [Ho16]. A key concept in the area are convolutional neural networks (CNNs), which learn filters that serve as local feature detectors strongly adapted to the task at hand. Furthermore, by "stacking" multiple layers, i.e. feeding the filter responses from one layer to subsequent filters, feature detectors of increasing complexity develop [ZF13].

In this paper, we apply CNNs for cross-modal image-graphics retrieval. Given is a repository of 3D models of objects (say, pieces of furniture or other products of interest). A user takes

[1] RheinMain University of Applied Sciences, DCSM Department, Unter den Eichen 5, D-65195 Wiesbaden / Germany, markus.eberts@hs-rm.de
[2] RheinMain University of Applied Sciences, DCSM Department, Unter den Eichen 5, D-65195 Wiesbaden / Germany, adrian.ulges@hs-rm.de

doi:10.18420/in2017_92

a photo of a real-world object, marks the object in the photo, and our system automatically retrieves the best-fitting 3D model from the repository. Our system has direct applications in smart shopping: In case the user finds a suitable 3D model, it can be modified to the user's individual needs, leading to a fully customized product. Other applications include virtual furnishing (say, replacing a piece of furniture in a photo with a different one). More generally, our matching might form a cornerstone for smart applications offering multi-modal interactions involving 3D graphics (be it products, pieces of art, buildings, or animated scenes in gaming).

To realize image-graphics retrieval, we follow a view-based approach: A CNN learns to estimate from rendered training views *which* object is visible in the target image, and from what *perspective*. In this paper, we focus on the latter question (commonly referred to as *pose estimation*): Given a photo of an object (say, a chair), can a CNN estimate from what perspective the object was filmed? A particular challenge here is that acquiring training data with pose ground truth is cost-intensive. As a proxy, we train our CNN on views rendered from 3D models, which can be acquired (including ground truth) at a large scale (see Figure 1). Note, however, that there is a *domain drift* between graphics and camera-captured photos: Lighting conditions in low-quality graphics are simplified, capture effects such as camera noise and blur are usually not taken into account. Beyond this, artificial backgrounds differ from real ones, and 3D training models may not exactly fit the object in the photo.

There are two general strategies to deal with this challenge: First, a – usually rather small-scale model – CNN can be trained from scratch for the target problem at hand (here, on rendered content) [Zh15, Gi16]. Second, larger-scale networks (see [Sz15, KSH12, He15]) – which are pre-trained on large-scale image collections and show remarkable accuracy in recognizing large numbers of diverse object categories – can be *transferred* to novel problems [Yo14]. While the former network (called **from-scratch** in the following) may be better adapted to the task at hand, the latter one (referred to as **transfer**) may provide better robustness with respect to domain drift, as training has happened on real-world photos. The key contribution of our work is an experimental comparison of both approaches on a dataset of 200 3D models of chairs (about 40.000 rendered views) and 263 photos with pose ground truth, in which we demonstrate that robustness to domain drift is crucial, such that the **transfer** approach is preferable.

2 Related Work

CNNs are considered state-of-the-art in various image understanding tasks [Ru15, Zh15, Ho16, Gi16], and have also been trained on rendered content before: For example, Hueting et al.'s image-graphics matching includes features pulled from a CNN [HOM15]. Often, transfer learning is applied, i.e. pre-trained CNNs are (after an optional adaption process) applied to different domains. Zamir et al. [Za16] demonstrate that a network trained on 3D proxy tasks (here, wide-baseline matching) can be applied to other related tasks, even without fine-tuning. Yosinski et al. [Yo14] demonstrate strong transferability of features learned

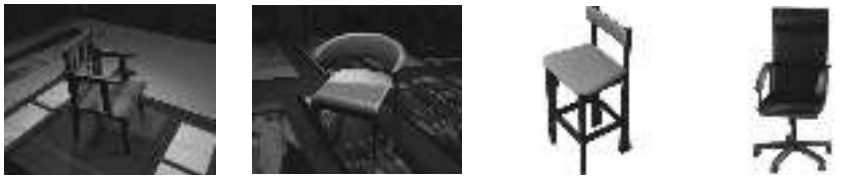


Fig. 1: Training views rendered with *Flickr skybox* (left) or plain white background (right).

on the large-scale ImageNet dataset [Ru15]. We follow this line of work (and will study a network pre-trained on the same dataset), but focus on pose estimation. Domain drift when transferring from graphics to photos has been reported by Hofmann et al. [Ho16]. They suggested an adversarial training, which enforces the network to produce signals of similar distribution for both graphics and real-world photos. Similarly, Long and Wang [LW15] achieve an adaptation between domains by minimizing the domain discrepancy of a CNN's inner layers' signals.

As an alternative to CNNs, hand-crafted features based on gradient statistics such as HOG [DT05] or SIFT [Lo04] have been widely used both for object recognition and pose estimation. Aubrey et al. [Au14] match photos of chairs with a large-scale repository of 3D models. They carefully select local HOG-based features by discriminative training and combine them using a star model. Brachmann et al. [Br16] employ random decision forests predicting posteriors for objects and object parts, which are processed by a RANSAC-based hypothesis testing. Finally, in their *spatial pyramid* model, Lazebnik et al. [LSP06] use windowed histograms over vector-quantized SIFT features (dubbed *visual words*), encoding which types of SIFT features occur in which subregions of the image (we include their approach as a baseline in our experiments).

3 Approach

Our approach renders 3D models into sample views, which serve as ground truth for training a CNN-based pose estimator, using either a *from-scratch* or a *transfer* network:

Rendering For each 3D model, we render training views by utilizing the Python API of Blender, an open source 3D computer graphics software. Our system scales all models to the same size and shifts their center of mass to the coordinate system's origin. The camera points at the origin (the center of the model) with a roll angle of zero. We use a subdivision approach to sample camera positions in regular distance[3]. The background is either plain white or an enclosing skybox textured with random Flickr images. As we assume the user to select the object of interest in our UI, we crop all training images to the object's bounding box (optionally, the bounding box is extended to be of squared shape).

[3] http://www.gamedev.sk/triangulation-of-a-sphere

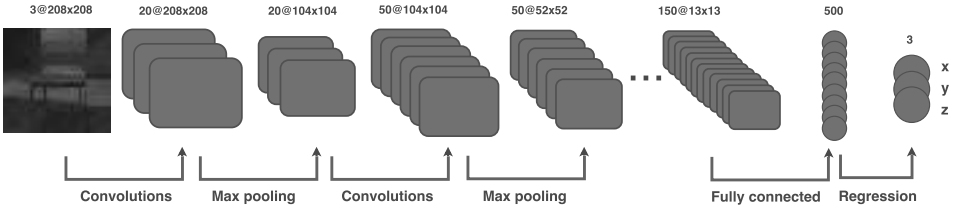


Fig. 2: Architecture of the from-scratch convolutional neural network.

Approach 1: From-scratch Our main contribution is the comparison of different CNN-based learners for pose estimation. Our first approach employs a small-scale CNN trained from scratch on rendered graphics. It applies *end-to-end learning*, i.e. it directly predicts the object pose and is trained by minimizing the angular error of pose estimation. The network is layed out in Figure 2 and follows common practice with CNN-based models: The input image is filtered with convolution masks, which serve as local feature detectors. These convolution operations are stacked in 4 layers. In each layer, an increasing number of filters (20, 50, 100, 150) of mask size 5x5 is applied. We use rectified linear units (ReLU) as activation functions. Each convolutional layer is also followed by a max-pooling, which scales down feature maps and limits the dimensionality of intermediate signals, resulting in (208x208, 104x104, 52x52, 26x26, 13x13) feature maps. In the end, two fully connected layers process the filter responses to estimate from which perspective the target object is filmed. The final layer performs plain linear regression and outputs the 3-dimensional camera position. As our end user crops the query image to the target object and the cropped region is rescaled to a standard size, we normalize the distance between the camera and object and estimate only camera positions on the 3D unit sphere. We define the loss function L for training by calculating the squared Euclidean distance between the camera positions $\mathbf{c}$ (estimated by the network) and $\mathbf{c}'$ (ground truth), both normalized to a Euclidean norm of one:

$$L(\mathbf{c}, \mathbf{c}') := (\mathbf{c}_x - \mathbf{c}'_x)^2 + (\mathbf{c}_y - \mathbf{c}'_y)^2 + (\mathbf{c}_z - \mathbf{c}'_z)^2$$

Approach 2: Transfer The second approach utilizes the well-known Inception-v3 network [Sz15], a very deep CNN pre-trained on the large-scale ImageNet dataset for recognizing 1000 object categories. The Inception-v3 network consists of ten so-called inception layers. Each contains several convolution and max pooling operations, and outputs multiple feature maps. Basically, the internal signals of the network $h_1(\mathbf{x})$, $h_2(\mathbf{x})$, ..., $h_{10}(\mathbf{x})$ indicate how well the different regions of the input image $\mathbf{x}$ "fit" a particular layer's detectors. Thereby, feature maps pulled from the inception network are rescaled to 8×8 pixels, which we found to work best in earlier experiments.

As has been demonstrated before [Yo14], the tensors $h_i(\mathbf{x})$ can be fed as feature vectors into subsequent learners. We follow this approach using a 2-Nearest-Neighbor matching: Given an image, we estimate the two training views with the most similar inception-based features

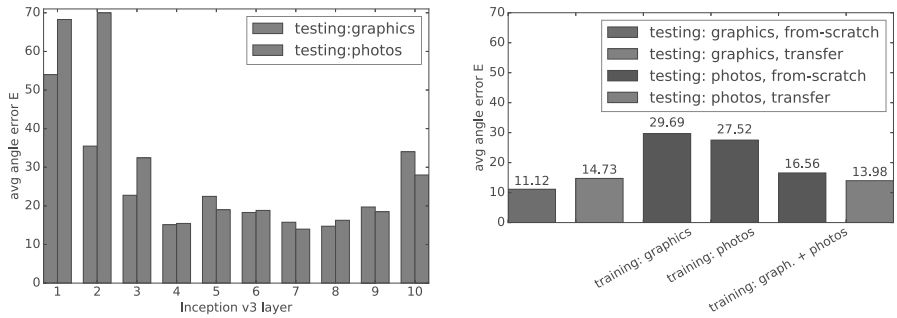


Fig. 3: Average angle error of the from-scratch and transfer CNN (left plot). The test was conducted on either graphics (left side of plot) or photos (right side of plot). Comparison of Inception-v3 layers and their effects on the average angle error (right plot). Tested on graphics (orange) and photos (teal).

and average their camera positions to obtain our pose estimate. Note that we do not perform any refinement of the Inception-v3 network on the target domain (pose estimation),

4 Experiments

We evaluate both CNN based approaches (from-scratch vs. transfer) and also include a baseline experiment that utilizes SIFT features. Thereby, we tackle several questions: (1) How well do the approaches generalize from rendered graphics to photos? (2) Are the features produced by the deep Inception CNN, which is pre-trained on a huge collection of photos, sufficient for pose estimation? (3) Which layers of the Inception CNN prove most useful for the kNN-based pose estimation? Our dataset consists of 200 chair 3D models, which we filtered from a larger-scale dataset of Aubrey at al.'s [Au14] by removing models with broken geometry. We tested all approaches on both graphics data and photos (details follow in the upcoming subsections). As an error measure, we use the angle between the estimated camera position $\mathbf{c}$ and the ground truth position $\mathbf{c}'$:

$$E(\mathbf{c}, \mathbf{c}') := \arccos\left(\frac{\mathbf{c}^\top \cdot \mathbf{c}'}{||\mathbf{c}|| \cdot ||\mathbf{c}'||}\right)$$

Transfer: Inception Layers The transfer approach relies on features pulled from an inner layer of the Inception-v3 network. We first examine which layer $h_i(\mathbf{x})$ to pull features from. Figure 3 (left) shows the angle error plotted over ($i = 1, ..., 10$), both when testing on graphics content and on photos (details will follow in the next section). We observe that higher levels of the Inception model tend to overadapt to the specific data the network was initially trained for, while lower layers lack expressive power (this is in line with earlier findings by Yosinski et al. [Yo14]). Intermediate layers seem to offer a good compromise,

such that we will use Layer 7 in the remaining experiments. The feature vectors $h_7(\mathbf{x})$ consist of 768 filter responses of shape 8×8 (about 50.000 dimensions).

Testing on Graphics We first evaluate both CNN approaches on graphics material. For the **from-scratch** approach, we split the models into 150 training chairs and 50 test chairs (cross-validation was omitted due to time constraints). Each training chair was rendered 400 times with random poses and Flickr backgrounds. All input to the CNN was cropped to a square region. We use a batch size of 50, a learning rate of 0.01 and applied 50% dropout. In the case of **transfer learning**, we performed leave-one-out cross-validation on all 200 models. We generated 209 training views per model by subdivision sampling of the upper hemisphere, rendered with plain white background. Sampling multiple backgrounds per view was omitted due to time and memory constraints (nearest neighbor indexing on 50K-dimensional non-sparse vectors proved resource-intensive). All input was cropped to the object bounding box. The graphics test views were rendered with a Flickr skybox background and a different number of subdivision steps, resulting in views that deviate in about 7 degrees from the transfer training views.

Results of the experiments are illustrated in Figure 3 (right, reddish). End-to-end learning (with an average angle error of about 11°) outperforms the Inception network (15°). Obviously, the CNN trained directly on the target domain (graphics content, pose estimation) is better suited compared to the Inception signals.

Testing on Photos We also tested both CNN approaches with real photos taken at a local furniture store. We captured a dataset of 263 photos of 40 different chairs with varying backgrounds, clutter and lightning conditions (note that shapes and colors tended to differ strongly from the 200 3D reference models). To acquire ground truth camera poses, each picture was shot twice from the same perspective, with one of the shots containing a chessboard marker placed on the seat of the chair. Based on the marker, we calculate the ground truth pose. Figure 3 (right, blueish) illustrates the results of the experiment. The **from-scratch** network trained on graphics performed much worse (angle error of 29°, "training: graphics") when generalizing to photos, due to the aforementioned domain drift. To investigate how the from-scratch network would adapt to the target domain, we performed two more control experiments: (1) "training: photos"where the CNN was trained on roughly 60% of the photos and tested on the remaining 40%. This gave a comparable angle error of 27°. Here, we observed strong overfitting, as the training set was quite limited. (2) "training: graphics+photos", where the CNN was pre-trained on graphics and then refined on the 60% training photos. Here, we observed a strong improvement with an angle error of 16°, indicating that even limited labeled data on the target domain can be extremely useful. Finally, the **transfer** approach gave the best performance, outperforming all runs of the from-scratch network with an average angle error of about 14°. This demonstrates the astonishing capability of transfer learning, and shows that training on photo material is extremely useful.

Baseline: Spatial Pyramids with hand-crafted Features Finally, we also tested a baseline



Fig. 4: Pose estimation results on photos. Views estimated by the from-scratch CNN (left), with the left sample showing an angle error of about 30° (in line with the avg. angle error without refinement) and the second to left sample an angle error of 16° (in line with the avg. angle error with refinement). Nearest neighbors estimated by transfer learning (right), with the fourth example showing an angle error of about 13.5° (the avg. angle error achieved with transfer learning is 13.98°).

using hand-crafted features. The approach is based on the well-known SIFT descriptors [Lo04] for local feature extraction. The features produced by SIFT are invariant with respect to translation, rotation and scale, and also robust with respect to image characteristics like noise and changes of illumination. We detect interest points using dense sampling (every 8 pixels), vector-quantizing the SIFTs to 100 clusters, and generate normalized windowed histogram corresponding to the *spatial pyramid* scheme by Lazebnik et al. [LSP06]. To estimate pose, we find the most similar training view to the query image by a nearest neighbor search over the resulting histograms (using the histogram intersection kernel). Even with tuning of the parameters, this approach resulted in an average angle error of 52.10° and is significantly outperformed by all our CNN models. We observed that nearest neighbor views found by the approach were often the most strongly textured ones.

5 Conclusions

We have studied deep CNNs for pose estimation in image-graphics retrieval. Our key finding has been that a very deep CNN pre-trained on the ImageNet dataset offers remarkable robustness when generalizing between domains (graphics vs. photos) and tasks (recognition vs. pose estimation). Our results are in line with current research [Za16] indicating that deep CNNs have the potential to generalize between diverse image understanding tasks. This might ultimately result in general-purpose vision systems, which would form a corner stone for image understanding in various vision-based smart systems.
Interesting directions for our future research persist in (1) a fine-tuning of the Inception-v3 network to the target domain (note that we applied the network off-the-shelf so far), and (2) a fine-grain refinement of angle estimates (our current k-NN solution suffers from quantization effects in the reference views).

References

[Au14] Aubry, Mathieu; Maturana, Daniel; Efros, Alexei; Russell, Bryan; Sivic, Josef: Seeing 3D chairs: Exemplar Part-based 2D-3D Alignment using a Large Dataset of CAD models. In: Proc. CVPR. pp. 3762–3769, 2014.

[Br16] Brachmann, Eric; Michel, Frank; Krull, Alexander; Ying Yang, Michael; Gumhold, Stefan; Rother, carsten: Uncertainty-Driven 6D Pose Estimation of Objects and Scenes From a Single RGB Image. In: Proc. CVPR. 2016.

[DT05] Dalal, Navneet; Triggs, Bill: Histograms of Oriented Gradients for Human Detection. In: Proc. CVPR. pp. 886–893, 2005.

[Gi16] Giusti, Alessandro et al.: A Machine Learning Approach to Visual Perception of Forest Trails for Mobile Robots. IEEE Robotics and Automation Letters, 2016.

[He15] He, Kaiming; Zhang, Xiangyu; Ren, Shaoqing; Sun, Jian: Deep Residual Learning for Image Recognition. CoRR, abs/1512.03385, 2015.

[Ho16] Hoffman, Judy; Wang, Dequan; Yu, Fisher; Darrell, Trevor: FCNs in the Wild: Pixel-level Adversarial and Constraint-based Adaptation. CoRR, abs/1612.02649, 2016.

[HOM15] Hueting, Moos; Ovsjanikov, Maks; Mitra, Niloy J.: CrossLink: Joint Understanding of Image and 3D Model Collections Through Shape and Camera Pose Variations. ACM TOG, 34(6):233:1–233:13, 2015.

[KSH12] Krizhevsky, Alex; Sutskever, Ilya; Hinton, Geoffrey E: ImageNet Classification with Deep Convolutional Neural Networks. In: Adc. NIPS 25, pp. 1097–1105. 2012.

[Lo04] Lowe, David G.: Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints. Int. J. Comput. Vision, 60(2):91–110, November 2004.

[LSP06] Lazebnik, Svetlana; Schmid, Cordelia; Ponce, Jean: Beyond Bags of Features: Spatial Pyramid Matching for Recognizing Natural Scene Categories. In: Proc. CVPR. pp. 2169–2178, 2006.

[LW15] Long, Mingsheng; Wang, Jianmin: Learning Transferable Features with Deep Adaptation Networks. CoRR, abs/1502.02791, 2015.

[Ru15] Russakovsky, Olga et al.: ImageNet Large Scale Visual Recognition Challenge. Proc. IJCV, 115(3):211–252, 2015.

[Sz15] Szegedy, Christian; Vanhoucke, Vincent; Ioffe, Sergey; Shlens, Jonathon; Wojna, Zbigniew: Rethinking the Inception Architecture for Computer Vision. CoRR, abs/1512.00567, 2015.

[Yo14] Yosinski, Jason; Clune, Jeff; Bengio, Yoshua; Lipson, Hod: How transferable are features in deep neural networks? CoRR, abs/1411.1792, 2014.

[Za16] Zamir, Amir Roshan; Wekel, Tilman; Agrawal, Pulkit; Wei, Colin; Malik, Jitendra; Savarese, Silvio: Generic 3D Representation via Pose Estimation and Matching. In: Proc. ECCV. pp. 535–553, 2016.

[ZF13] Zeiler, Matthew D.; Fergus, Rob: Visualizing and Understanding Convolutional Networks. CoRR, abs/1311.2901, 2013.

[Zh15] Zhang, Xucong; Sugano, Yusuke; Fritz, Mario; Bulling, Andreas: Appearance-based Gaze Estimation in the Wild. In: Proc. CVPR. pp. 4511–4520, 2015.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 915

Smart Authoring for Location-based Augmented Reality Storytelling Applications

Antonia Kampa [1] and Ulrike Spierling [2]

Abstract: SPIRIT has been an applied research project that developed a location-based Augmented Reality prototype for outdoor museums. It uses the sensors of mobile consumer appliances to provide a variety of contexts for the delivery of adaptive and interactive stories. This paper addresses the technical authoring process to develop new non-linear story content for the app. We propose smart authoring tools to assist non-programmers. Based on requirements for authoring that we identified from issues in our first production, we describe the smart authoring tools MockAR, StoryPlaceAR, StoryStructAR and VideoTestAR. Preliminary evaluation observations support our hypothesis that these tools simplify the authoring process, in order to support museum curators and media designers during the creation of mobile experiences adapted to contextual situations.

Keywords: Authoring Tools, Interactive Digital Storytelling, Location-based, Augmented Reality

1 Introduction

In the last several years, smart and assistive systems with multi-sensor interfaces have inspired the development of novel applications for personal living as well as for cultural environments. For example, sensors in mobile consumer appliances can provide different contexts for adaptable information delivery in public spaces. This can change a museum's site into a smart personal environment for entertaining Interactive Digital Storytelling (IDS). In the applied research project SPIRIT, we developed a mobile Augmented Reality (AR) application that interprets location-dependent contexts. It presents interactive video content that fits a current user position as well as a plot- or game situation. The SPIRIT app uses mobile device sensors, such as GPS, gyroscope and Bluetooth, for detecting the gadget's spatial position. Besides these, camera image comparison with a reference image database [DSV15] can trigger prepared video and other media content. By producing fitting transparent videos, authors 'stage' characters – for example, for re-enacting historic events – in front of meaningful 'backdrops' in the real environment (see Fig. 1). More than just presenting one media clip at one location, such as in other existing apps, the SPIRIT app offers to trigger new content at the same location when the user moves the device, for example, by looking around. Our integrated plot engine [KS16] processes a given content structure to provide a fitting order of story events. Using all sensors, storytelling is then possible in three-dimensional space. At the same time, story creation becomes more

[1] Hochschule RheinMain, Dept. of Design, Computer Science, Media, Unter den Eichen 5, 65195 Wiesbaden, antonia.kampa@hs-rm.de
[2] Hochschule RheinMain, Dept. of Design, Computer Science, Media, Unter den Eichen 5, 65195 Wiesbaden, ulrike.spierling@hs-rm.de

doi:10.18420/in2017_93

complex for authors. Creative writers are involved to come up with enacted scenes that let visitors of a historic site empathize with its past, right on the spot. That way, providing a meaningful experience, it is essential that these authors can also relate to their own creations in a short cycle of creating and experiencing, as for them, 'the proof of the pudding is in the eating'. It is essential that they understand and feel the systems 'smart' aspects, including limitations of precision in positional recognition. Some sensors only work in an incremental way, and image recognition depends on lighting. Also, the dynamics of non-linear story presentation must be anticipated by authors and experienced as turning out in a meaningful way, in advance of delivery.



Fig. 1: SPIRIT end-user experience. Holding a tablet and turning it to the left and right, users collect elements of a location-dependent story, here with authored spirits showing a possible historic situation [https://www.youtube.com/watch?v=b9V2XblmZQw]

In short, AR in SPIRIT aims at creating a sensible relation between the place and the story. To assist authors in achieving this, smart authoring tools should support the conception as well as the experience of appropriate content for sensorial contexts. We propose an authoring concept with tools that allow ad-hoc prototypical content creation for testing and debugging, simplifying the authoring process and assisting creators.

2 Related Work in Authoring

SPIRIT combines sensorial aspects with interactive storytelling, which, so far, no other mobile AR system offers in a comparable way. A common issue in IDS research projects concerns the cyclic development of dynamic content structures in parallel with authoring first content. Content structures rely on specific interaction styles, unless only hyper-structures are involved. XML extensions are widely used as description languages [SMR03], [SWM06], as in our project SPIRIT. The development of GUI-editors for non-programming creators – especially monolithic tools – often cannot catch up with ongoing changes in the structure, based on the demands of iterative development [PC08]. As a consequence, technical authors tend to write XML directly [SS09]. For authors, a challenge remains in interactively empathizing with their own created content, as player software often comes separated from the authoring.

Authoring AR content has been made accessible for programmers with systems like EDoS [TSM10] and ComposAR [WA09], and for non-programmers with Layar [LAY17] and Aurasma [AUR17]. These tools do not support story-specific content structures. The system iaTAR (immersive authoring for tangible AR) transforms *'What You See Is What You Get'* into the concept of '*What You Feel Is What You Get*' [LE04]. This concept has not been used in location-based storytelling contexts so far. ARIS [ARI17] and Ingress Mission Creator [IMC17] are authoring tools for location-based stories, but do not support AR content and storytelling. The closest match to storytelling with geospatial AR content is TaleBlazer [TAL17], which offers a script language similar to Scratch [SCR17] with a graphical editor for location-based scavenger hunts. However, it has no open story structure and does not support transparent AR video to visually integrate characters in the environment. None of the storytelling tools so far address further device sensors such as the gyroscope.

3 Technical XML Authoring Process

For sensorial contexts, we developed a formalized story structure called STARML (Story Telling Augmented Reality Markup Language) [KS16], derived from ARML, a standard proposed by the Open Geospatial Consortium [OGC13]. STARML supports non-linear IDS by using conditions for referencing sensorial contexts and story states to trigger content. Fig. 2 shows technical authoring steps for a SPIRIT experience. Based on historical research, authors find interesting places and capture backdrop images in the environment. Writers, directors and designers create film scripts, produce video, audio, image and text content, as well as GUI elements. Then a technical author writes the story structure into STARML and links all produced media content. After copying all data onto the mobile device, the SPIRIT experience can be tested and debugged.

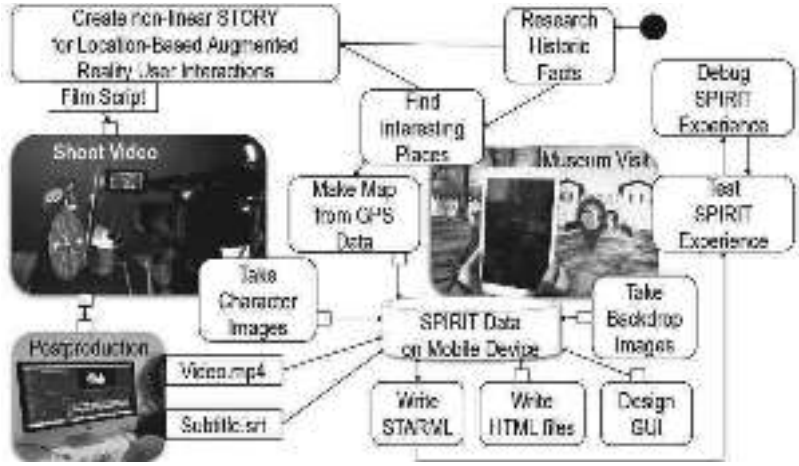


Fig. 2: Technical Authoring process: activities and assets

The STARML elements have been specifically designed to support their understanding by authoring target groups in media, storytelling and museums. Non-programming writers shall be able to start a project by simply editing a template XML file. By descriptive tag names related to the storytelling domain, STARML is intended to be authoring-friendly. As has been stated in [ARD04], the relevant tasks that authors have to fulfill are then reduced to their core domain and competencies. In addition to that, supporting tools are proposed in the following.

4 Specific Requirements for Authoring SPIRIT Experiences

Authoring large SPIRIT stories becomes a matter of organization. Here we describe authoring issues that we experienced during our first full showcase production (Fig. 1).

Change of Workplace: On-site testing and debugging in the outdoor museum has been costly, time consuming and cumbersome, due to travel and outdoor conditions. Results of story conception and media production are easier achieved at a desktop computer. Some testing can be done in the office by faking GPS data and using printed backdrop images. Other tests must be performed on-site, e.g. for validating GPS data, image recognition in daylight, map visualization and GUI visibility. However, debugging is easier performed at a desktop computer than outdoors with a laptop, including weather conditions.

Authoring Activity	Best Authoring Location
Research historic facts	Desktop computer, office
Find interesting places	On-Site, outdoors
Envision story structure	On-Site, outdoors
Write and test story structure in STARML	Desktop computer, office
Test story experience in context	On-Site, outdoors
Envision user interaction	On-Site, outdoors
Write user interaction in STARML	Desktop computer, office
Test user interaction	On-Site, outdoors
Capture backdrop images	On-Site, outdoors
Link backdrop images in STARML	Desktop computer, office
Test backdrop image recognition in daylight	On-Site, outdoors

Tab. 1: Selected authoring activities and workplaces at which they are most effective

Table 1 visualizes single authoring tasks, grouped together in work steps. Best authoring locations often change in between the same logical work step. Further, debugging has to be added, which ideally requires frequent changes of the workplace, compare Figure 3.

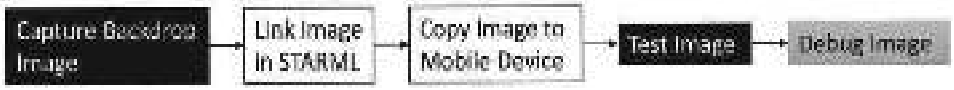


Fig. 3: Authoring activity outdoors: black; at desktop computer: white; at both locations: gray

Envisioning Experiences: Authors have to envision the end-user experience of their creation, which is a story integrated with location-dependent and interactive sensorial conditions. In some of our first design sessions, creatives and programmers developed different understandings of the described experiences, while traditional media design techniques, such as storyboards, wireframes and click-dummies, turned out to be limited.

Structuring Task: STARML, which needs to be written by non-programmers, provides a potentially non-linear content structure by utilizing conditions as mentioned in Section 3. Short SPIRIT experiences may count about 520 lines of code, while our first complete story (see Fig. 1) contained over 1200 lines of code. Organizing, linking and structuring all data into one XML file needs at least the structural knowledge of STARML.

Story Testing Needs Content: Authoring of a story element leads to testing (compare Fig. 4). Hence, media assets are needed to display preliminary story elements. Because media assets are expensive, the final production should only start after the story has been debugged. However, the non-linear discourse, continuity, impact and ambience of a story need to be tested with prototypical content, in order to prevent the discarding of expensively created media in the debugging process.

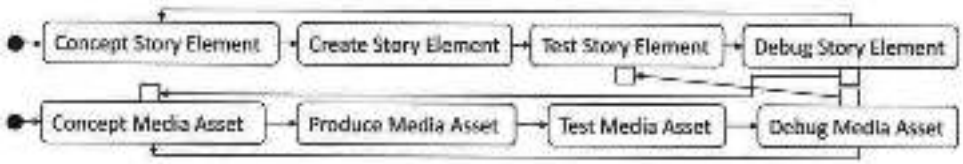


Fig. 4: Story element creation process (above) and media assets production process (bottom).

5 Engineering Smart Tools for Specific Authoring Requirements

For limiting the "Change of Workplace" issue, we implemented authoring tools to run on the same platform as our mobile SPIRIT app (Android 6.0.1). With these, testing and debugging can be accomplished outdoors, on the same mobile device. Android Intents and Intent Filters automate switching between mobile applications. As this functionality of the operating system handles data transfer, development has been easier. Several single smart authoring tools have been developed, while each tool addresses a certain set of authoring tasks that together form one work step (compare Table 1) by using sensors of the device. Android Intents and Intent Filters enforce the strict separation of functionality in the tools. The benefit of this resembles the advantage of the facade pattern [GHJ94], by making a software easier to develop, understand, and test, as well as easier to maintain. It contributes to readability and reduces dependencies of outside code on the inner workings, allowing more flexibility in developing software systems [GHJ94]. This in mind, we developed the smart authoring tools MockAR, StoryPlaceAR, StoryStructAR and VideoTestAR.

StoryPlaceAR was developed for limiting the issue we called "Change of Workplace", by offering ad-hoc testing. It is used to add and delete reference images and to edit GPS

data. It is smart, because it interprets GPS data of location-dependent STARML elements and visualized information relative to the author's on-site position. StoryPlaceAR validates edited data. It shows hints during the authoring process about whether or not the resulting STARML code can be played by the SPIRIT app.

MockAR [KSS16] was developed for the requirement of "Envisioning Experiences". It visualizes transparent images in a declarable sequence on top of the camera image of a mobile device. Sensor signals can be defined as conditions for progress. Designers can use it similarly to their traditional wireframing technique, in order to test preliminary ideas as a mockup before any XML exists, using the same 'smart' sensors as the SPIRIT app.

StoryStructAR eases the "Structuring Task". It is smart, because it interprets and visualizes non-linear story structure by highlighting story courses. With StoryStructAR, authors can manipulate story elements in STARML, without coding XML, through StoryStructAR's UI. The tool provides STARML templates, visualizes conditions and validates the STARML code.

VideoTestAR solves the "Story Testing Needs Content" premise and limits the issue "Change of Workplace". It searches a STARML file for missing media assets. After visualization, it suggests ad-hoc prototyping of the missing media assets. VideoTestAR records audio and video. It also offers a collection of transparent images to be used ad-hoc for transparent AR video production with still frames. VideoTestAR produces compatible AR videos (H.264 encoded videos with baseline profile in an mp4 container [DSV15]). Producing ad-hoc prototypical transparent AR video content enables ad-hoc on-site testing and debugging of story elements (compare Fig. 4).

6 Preliminary Evaluation Results and Discussion

The proposed tools have been developed partially during the authoring of the first showcase, and partially as a result of evaluating this process, for future work. Thus, some have been successfully used, while others are currently under a preliminary test with two ongoing authoring projects.

MockAR has been used by a few students in Media Management with no programming experiences during the research project SPIRIT. They produced several sequences for demonstrating different designs of transparent AR video appearances, user interactions and GUIs. The results served as helpful demonstrators, by which our interdisciplinary project team was able to discuss different designs of possible SPIRIT experiences [KSS16]. We also observed a decrease of misunderstandings about requirements of the SPIRIT application. After that, visualized requirements were implemented faster and with greater attention to detail. We conclude that MockAR facilitates communication between programmers and designers, by supporting "Envisioning Experiences". [ARD04] states that a goal in authoring for IDS is to "provide communication interfaces between technology experts, storytelling experts and application domain-experts" [ARD04]. We

argue that MockAR can accomplish this goal, and that it can be used by designers and museum curators. Further, StoryPlaceAR has been used during the evaluation phase of the first SPIRIT showcase by a group of students who prepared and conducted several tours with visitors of the partner museum. Here, due to changing weather conditions and changes in the facilitated plan of the course, it was frequently necessary to adapt reference images ad-hoc, fitting them to the geographical map. The students were able to do so successfully on-site, without looking into the code.

In another ongoing academic project, eight media students with no programming experiences evaluate our smart authoring tools together with a complete authoring process for new content ideas. At first, they reported that STARML is easy to understand as an XML dialect. They edited first location-based story elements, GPS data and GUI assets with the help of an XML editor, by using templates. So far, we can state that non-programmers can easily adopt the skills of writing and debugging simple STARML code from templates. We hypothesize that next to templates, this is supported by the authoring-friendly and descriptive tag names stemming from the storytelling domain. VideoTestAR is currently under evaluation, so, getting feedback in comparison with using traditional media production suites is future work. Because of our preliminary observations, we estimate that the concepts are suitable also for museum curators and media designers, as it was the goal to enable authors with different backgrounds to create IDS experiences.

7 Conclusion

We described the authoring process of a SPIRIT experience based on the developed STARML content structure, as well as smart tools to assist authors on-site. We pointed out specific issues that make this authoring process unique: “Change of Workplace”, “Envisioning Experiences”, the “Structuring Task” and “Story Testing Needs Content”. For tackling them, we developed the tools StoryPlaceAR, MockAR, StoryStructAR and VideoTestAR. We described their concept and their benefit of being ‘smart’ authoring tools. Based on our preliminary evaluation results, we conclude that when addressing ‘smart’ sensors in an end-user experience of IDS, ‘smart’ authoring tools assist authors during interactive content creation, as well as with the communication in an interdisciplinary production team. We suppose that museum curators and media designers can utilize these smart authoring tools for developing location-dependent Augmented Reality Interactive Digital Storytelling experiences.

References

[ARD04] Abawi, D. F.; Reinhold, S.; Dörner, R.: A Toolkit for authoring non-linear storytelling environments using mixed reality. In International Conference on Technologies for Interactive Digital Storytelling and Entertainment, Springer, pp. 113-118, 2004.

[ARI17] ARIS - Mobile Learning Experiences, http://arisgames.org/, last access: 17.06.2017.

[AUR17] Aurasma Development Kit, https://www.aurasma.com/, last access: 17.06.2017.

[DSV15] Dastageeri, H.; Storz, M.; Coors, V.: SPIRIT Videobasierte mobile Augmented Reality Lösung zur interaktiven Informationsvermittlung. Proc. DGPF, pp. 288-295, 2015.

[GHJ94] Gamma, E.; Helm, R.; Johnson, R.; & Vlissides, J.: Design patterns: Elements of reusable object-oriented languages and systems, Prentice Hall, 1994.

[IMC17] Ingress Mission Creator, http://mission-author-dot-betaspike.appspot.com/, last access: 17.06.2017.

[KS16] Kampa, A.; Spierling, U.: Requirements and Solutions for Location-based Augmented Reality Storytelling in an Outdoor Museum. In: Culture and Computer Science – Augmented Reality, Proceedings of KUI 2016, VWH-Verlag, pp. 105-117, 2016.

[KSS16] Kampa, A.; Stöbener, K.; Spierling, U.: User Interface Prototyping for Handheld Mobile Augmented Reality Applications. In International Conference on Entertainment Computing. Springer International Publishing, pp. 229-234, 2016.

[LAY17] Layar, Augmented Reality, Interactive Print, https://www.layar.com, last access: 17.06.2017.

[Le04] Lee, G. A.; Nelles, C.; Billinghurst, M.; & Kim G. J.: Immersive authoring of tangible augmented reality applications. In Proceedings of the 3rd IEEE/ACM international Symposium on Mixed and AR, IEEE Computer Society, pp. 172-181, 2004.

[OGC13] OGC, Lechner M. Ed. 2013. OGC Augmented Reality Markup Language 2.0. Draft Candidate Standard, https://portal.opengeospatial.org/files/?artifact_id=52739 .

[PC08] Pizzi, D.; Cavazza, M.: From debugging to authoring: Adapting productivity tools to narrative content description. In Joint International Conference on Interactive Digital Storytelling, Springer Berlin Heidelberg, pp. 285-296, 2008.

[SCR17] Scratch, https://scratch.mit.edu/, last access: 17.06.2017.

[SMR03] Szilas, N.; Marty, O.; Réty, J.-H.: Authoring Highly Generative Interactive Drama. In Virtual Storytelling, Proceedings of ICVS 2003, Springer, pp. 37-46, 2003.

[SS09] Spierling, U.; Szilas, N.: Authoring issues beyond tools. In Joint International Conference on Interactive Digital Storytelling, Springer, pp. 50-61, 2009.

[SWM06] Spierling, U.; Weiß, S. A.; Müller, W.: Towards Accessible Authoring Tools for Interactive Storytelling. In Technologies for Interactive Digital Storytelling and Entertainment, Conference Proceedings, Darmstadt, Springer, pp. 169-180, 2006.

[TAL17] TaleBlazer, www.taleblazer.org, last access: 17.06.2017.

[TSM10] Tran, C.; George, S.; Marfisi-Schottman, I.: EDoS: An authoring environment for serious games. Design based on three models. In Proceedings of ECGBL 2010, The 4th European Conference on Games Based Learning, pp. 393-402, 2010.

[Wa09] Wang, Y.; Langlotz, T.; Billinghurst, M.; Bell, T.: An authoring tool for mobile phone AR environments. In Proceedings of New Zealand Computer Science Research Student Conference Vol. 9, pp. 1-4, 2009.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 923

Smart Assistive User Interfaces in Private Living Environments: Challenges and Perspectives

Ralf Dörner [1]

Abstract: The paper outlines a vision of how smart assistive user interfaces in private living environments could exceed the current state of the art. In particular, it is shown how a virtual assistant capable of evolution and capable of absorption is beneficial and a step towards an entity that is able to identify and make accessible through a user interface as many suitable services of the smart home environment as possible that fit the individual needs and interests of its users. Challenges such as the coherence challenge, the design challenge, the user acceptance challenge, and the security and privacy challenge are identified that are significant obstacles in realizing the vision. Based on this, approaches that provide a perspective to overcome these obstacles are presented. Here, the paper looks at advanced UI technology, robotics, user profiling and smart reasoning, software architectures, the internet of things, organic computing, and advanced security methodologies. Finally, the paper discusses a blueprint for a smart assistive user interface and the peculiarities in the application field of private living environments.

Keywords: Human-Computer Interaction; Smart Homes; Virtual Assistants

1 Introduction

Virtual assistants that are able to communicate with users naturally and provide IT services are not only found in car navigation systems or on mobile phones (e.g. Apple's Siri or Samsung's Bixby) but made the step into the homes of the users successfully. Google Home or Amazon's Alexa assistant that can be accessed by a specific device (Amazon Echo) are prominent examples. For instance, according to Forbes Magazine the Amazon's Echo device has been the best-selling device on amazon.com in 2016 and thousands of skills for the assistant are available from third party providers on a specific market place. Still, current virtual assistants have only a limited scope of actions and are not able to act as a single point of contact to a smart home. Already 25 years ago, ideas of a personal assistant have been discussed that has a very broad scope and even accompanies people during their whole life [No93]. In our vision which can be perceived as a step towards more overarching concepts for virtual assistants, there should at least be a coherent UI in a private living environment that offers a broad range of comfort functions. In this paper, we identify and examine challenges in reaching this vision of a smart assistive UI and present perspectives

[1] RheinMain University of Applied Sciences, Dept. Design, Computer Science, Media, Unter den Eichen 5, 65195 Wiesbaden, Germany ralf.doerner@hs-rm.de

doi:10.18420/in2017_94

how to work towards it. The paper is organized as follows. In the next section, we start with outlining a vision for the capabilities of future virtual assistants in order to clarify goals one could be working towards. Next, we identify current obstacles and challenges that are relevant for reaching these goals. In the following section, we look at approaches that provide a perspective to overcome these obstacles. Before we conclude, we discuss a blueprint for a future smart assistive user interface and examine its peculiarities with regard to it being placed in private living environments.

2 Vision

In this section, we outline a vision for a virtual assistant that goes beyond the current state of the art. Assistants at home could offer more services than controlling the basic infrastructure of a home and its household appliances (e.g. switching light on or controlling heating). Most of these more far-reaching services have been investigated in the context of ambient assisted living where assistants address the needs of vulnerable users [YK12]. While taking care of the elderly or the ill are important features, there are many more functions that can be offered, for instance

- comfort functions (e.g. reminders, entertainment offers, reporting, home automation features, concierge services, wearable assistance),
- coordination with the assistants of other homes and the building in total as well as other stakeholders (janitors, building owner, security guards, concierges),
- advice on how to best facilitate the IT infrastructure, e.g. in order to save energy,
- protection against real and virtual security breaches of the building environment,
- observation of the tenants should the need arise (e.g. due to illness, disabilities or age-related restrictions) and support of the healthy aging of the home's inhabitants.

One benefit of taking a broader perspective is that the assistant is not associated with negative circumstances in life such as illness. It could accompany users for a large time span and offer other valuable services before it also gradually acts as an assistant in the sense of ambient assisted living. For this, it is crucial that the assistant is a metaphor for a single point of a contact to a complex and evolving federation of IT systems present in the user's home. The central goal of the virtual assistant is to identify and make accessible through a user interface as many suitable services of the smart home environment as possible that fit the individual needs and interests of the home's inhabitants. Moreover, the virtual assistant administrates and maintains the smart home environment following the users' demands and being able to report its actions and their implications in a way that is understandable by the users. For this, the whole private living environment becomes the fundament for realizing the assistant, i.e. the assistant is not tied to a specific device or location within the

private home. The virtual assistant is a ghost-like entity that can inhabit virtual spaces but can also "possess"real objects in the home, e.g. using all loudspeakers in the private living environment (e.g. on a television set, an alarm clock, a user's tablet or a intercom at the door) to talk to the user. Let us illustrate the vision with a use case: *Jane D. buys a new game console that contains a 3D camera. At home, the new hardware resource is discovered by the virtual assistant and automatically configured. The virtual assistant appears on a display in Jane's kitchen and informs her that the game console is ready to be used. It makes additional suggestions, e.g. that Jane could play a health game. Jane agrees and starts playing using the 3D camera and her 50" television set whose display became automatically part of a new virtual exercising device together with the smart windows of her living room that open in order to provide enough oxygen for Jane's workout. The virtual assistant monitors her success over time and encourages Jane to continue workout and also to change her eating habits. For this, it combines the physiological data from her smart watch, her latest medical report, and nutritional information about the food she has bought that the virtual assistant can access on the Internet. Accessing data from a cloud, the virtual assistant compares her data with Jane's age group and ensures that she does not over exercise. Having a 3D camera available, Jane is able to communicate with her virtual assistant by simply pointing at objects. When she gets cold during exercise, she gestures at a window and says to the virtual assistant "close this window, please". The virtual assistant had explained to her the new exercising capabilities when it discovered that there was a quiet moment where Jane was able and willing to pay attention. While Jane gets older over the years, the virtual assistant is able to integrate the 3D camera of the game console in many useful virtual devices, some of them offering the amenities of assisted living, e.g. directing her household robots or monitoring of her movements and alerting help when necessary.*

There are two major characteristics of the user interface. First, the user interface is capable of evolution. The virtual assistant can take advantage of new devices introduced to the IT infrastructure and is able to forego devices that are removed or replaced in the private living environment over a long period of time. Moreover, the virtual assistant is able to adapt to the evolution the user undergoes when becoming older – and as a result the user interface also evolves. For example, by collecting and processing information from a user over several years or even decades the virtual assistant evolves in its user profiling and user adaptation. Second, the user interface is capable of absorption. It absorbs novel hardware capabilities and is pro-actively capable of turning them into affordances for user interaction. Similarly, the user interface is able to absorb advances on the software side, e.g. novel algorithms for reasoning or novel standards to access devices. Moreover, the virtual assistant is able to absorb information that is either collected from user observation or can stem from various resources in the Internet.

3 Challenges

After sketching a vision for smart assistive user interfaces of the future, we take a look at some of the challenges that need to be addressed for working towards realizing this vision.

We identify four major challenges: the coherence challenge, the design challenge, the user acceptance challenge, and the security and privacy challenge.

Coherence Challenge. Early ethnographic studies in the area of smart homes [KVVM04] showed that neither a stationary device such as PC nor a mobile device (e.g. a mobile phone) alone are sufficient to interact with a smart home environment well. [KVVM04] attribute this to the different characteristics of tasks, e.g. tasks that are concerned with planning (e.g. setting up a schedule for heating) vs. tasks that aim at instant control (e.g. turning a light off). Also, all real devices found in private home (e.g. household appliances) come equipped with their own user interface. Thus, there exist many different user interfaces to a smart home. The challenge is that these isolated user interfaces show a degree of coherence and consistency in order to satisfy fundamental usability demands. The assistant should not be yet another user interface for the smart home environment next to all other user interfaces or a user interface on a higher hierarchical level above them but rather serve as glue that integrates all separate user interfaces to a single point of contact and mitigates inconsistencies. In particular, the virtual assistant needs to use interaction modalities consistently. Research work such as [SJ15] shows that making an interactive assistant relying on tightly-coupled multimodal dialog advances the usability of the assistive system.

Design Challenge. Designing a user interface that is expected to evolve over a long period of time is particularly challenging as it is design with incomplete information. Future development in hardware and software are unclear as well as future user requirements. Evolution over a long time period also includes rapid adaptation to changing requirements, e.g. a user who suffered a stroke or had an accident might need a radically different user interface within a short period of time. Approaches to tackle this challenge are scarce. Moreover, the design challenge does not only touch on difficulties in designing user interface concepts but also on architectural design of the IT system that implements the user interface. Literature such as [PE10] shows that even when user interfaces follow modern component-based design approaches it is still challenging to seamlessly integrate heterogeneous UI components that can lead to basic implementation problems such as loss of modularity or tangled code.

User Acceptance Challenge. The virtual assistant in our vision has far reaching power and can influence people's lives heavily. Many users not versed in technology find it difficult to recognize the state and to understand the actions of a virtual assistant. Moreover, they find it difficult to assess and to evaluate a virtual assistant's decisions and performance. This opaqueness of the virtual assistant, its actions and their rationale, makes it challenging for users to accept and trust a virtual assistant. Research [Ts14] indicates that for an acceptable virtual assistant humanlike communication and behavior is appreciated and ßocial skillsäre requested. This is a challenge in itself. Moreover, users expressed mixed opinions according to [Ts14] whether the virtual assistant should possess a humanlike appearance. The term üncanny valley"describes a phenomenon that a humanlike assistant needs to be perfect and especially small deviations elicit revulsion in humans. This poses a challenge to realistically simulate a virtual human character that is acceptable for humans. But even the strategy

to not strive for perfect humanlike appearance and clearly make the virtual assistant not humanlike, e.g. by using Cartoon-like animated characters, may not lead to user acceptance. A prominent example is the Microsoft's Office Assistant "Clippy", an animated paperclip, who invoked mostly negative strong emotional responses. Besides appearance, an important aspect for user acceptance is the mode of communication between user and smart home. In the literature, researchers advocated for end-user programming, i.e. the goal to enable users to express themselves in a formal language (e.g. rule-based approaches where users specify actions to be triggered as a result of the occurrence of events or visual programming approaches). This has not been successful [DRC15] as inhabitants of smart homes keep having problems in understanding or troubleshooting. Developing end-user programming that is acceptable for users in private living environments or finding adequate alternative is still an open research task.

Security and Privacy Challenge. Related to user acceptance is the challenge to not only ensure that the virtual assistant is a secure IT system but also that it is perceived as trustworthy. Users in their private homes are particularly vulnerable and guaranteeing privacy is a challenge. Only few work in the literature such as [Ch11] examine and classify private moments of inhabitants in their home or the effects on social life when inhabitants are vitreous humans from the virtual assistant's perspective.

4 Perspectives

The previous sections demonstrated how varied the challenges are for realizing our vision of a virtual assistant. Hence, solutions need to draw on different approaches that offer perspectives to work towards the vision. One perspective lies in advanced user interface technology. For example, Augmented Reality and Tangible User Interfaces [Is08] allow all real objects in a smart home to become part of the user interface. [HLH15] gives an example how a direct combination of digital interfaces and physical affordances can foster usability. [Ha11] shows how this can lead to seamless multimodal interaction in 2D and 3D. For instance, this can be used to allow for interaction over a distance range and allow users to interact with user interface elements in direct reach but also remotely. [Cl11] examines such a proximity-based interface in the context of private living environments. Robotics provides the perspective to have a proxy that acts in a distance. [RS15] describes a smart home where a user and robot together operate physical devices. Moreover, a virtual assistant can be embodied in a robot and novel forms of human-computer interaction or human-robot interaction can be created. In this way the action capabilities of the virtual assistant will also increase. This perspective has already been visualized in movies such as Iron Man, where the smart assistant Jarvis acts through robots.

Another perspective is the use of methodologies from organic computing. These comprise the so-called self-X properties such as self-organization, self-awareness, self-configuration, self-healing, self-protection and self-optimization. These methodologies allow the underlying IT infrastructure to organize itself being triggered by the virtual assistant. This way the

virtual assistant is able to act and to adapt to changing environments and requirements. The virtual assistant sets standards and constraints in this process adhering to policies given by its user. Possible methods used here from the research field of organic computing include bio-inspired methods like artificial hormones or DNA or an artificial immune system. These methodologies can be complemented by novel approaches in reasoning such as deep learning or methodologies from multi agent systems. Network access and access to databases or a cloud can provide the necessary basis information for reasoning together with information gathered by the sensor network in the smart home as well as a history of user interactions. This information can be harvested in order to improve user profiling. Flexible connections of sensors and actuators can be achieved by using the Internet of Things (IoT). The Internet of Things (IoT) is a huge and still expanding network of connected "things", i.e. devices that are (1) connected to the internet and exchange data, (2) able to collect data through embedded sensors, and (3) remotely monitored and controlled. It is estimated [GC15] that the number of IoT devices will increase worldwide from 4.2 billion (2015) to 24 billion (2020) from which 5 billion will be installed in consumer settings. The lack of interoperability of the IoT [STJ14] extends to the difficulty to provide consistently designed user interfaces. Here, virtualization of sensor and actuators nodes can be a perspective to remedy these problems.

Several approaches to tackle the security challenge are under research such as smart contracts and block chains that are successfully used in peer-to-peer electronic cash systems e.g. Bitcoin. Another interesting source for perspectives is entertainment computing [Dö16]. For example, gamification can be used to motivate users to undergo some training in order to improve interaction with the virtual assistant or to realize balancing mechanisms between sophistication of services rendered by the virtual assistant and user expertise in dealing with smart home technology in order not to frustrate the user.

5 Discussion

In Figure 1 we depict an overview of an architecture that combines approaches presented in the previous section. There is no single user interface layer with dedicated hardware but the whole IT infrastructure serves also to support the realization of the user interface. A knowledge base and the deduction of contexts provide the basis for smart capabilities of the virtual assistant. These are supported by Self-X mechanisms from organic computing as well as security mechanisms. Having abilities such as self-organization and reasoning in the core of the system, allows addressing the peculiarity of a smart home that there is no administrator and the user cannot be expected to handle complex IT-related tasks such as end-user programming. Distributing user interface functionality over the whole system offer the degrees of freedom needed to flexibly realize and adapt a user interface with high usability. Another peculiarity of smart homes are that their users do not plan to develop and maintain the infrastructure. As a result, the smart home needs to cope with system failures and the introduction of novel devices in a completely automated way.

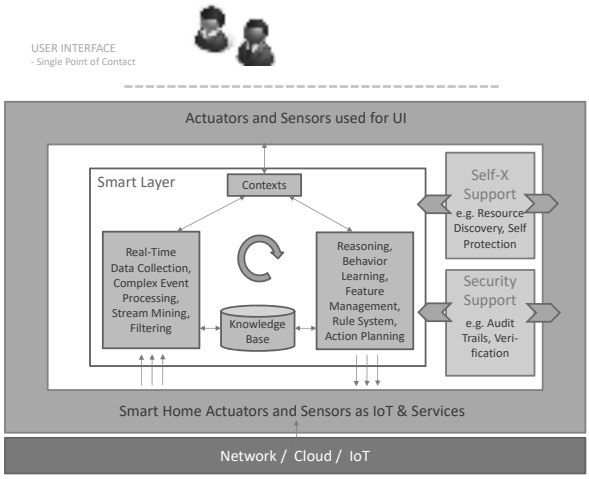


Fig. 1: Blueprint of a system architecture for a virtual assistant and a smart home system

6 Conclusion

This paper contributes to the discussion of future directions of research in user interfaces that are highly relevant for innovative private living environments. The vision for user interfaces in a smart home is a virtual assistant that serves as a single point of contact and is capable of evolution and absorption. Major challenges for realizing this vision but also promising approaches to overcome these challenges exist. System architectures and research efforts are needed that take vertical integration into account. Hence, user interfaces in a smart home environment need to be designed and implemented with basic infrastructures such as the IoT as well as middleware such as a smart layer for reasoning in mind.

References

[Ch11] Choe, Eun Kyoung; Consolvo, Sunny; Jung, Jaeyeon; Harrison, Beverly; Kientz, Julie A.: Living in a Glass House: A Survey of Private Moments in the Home. In: 13th International Conference on Ubiquitous Computing. UbiComp '11, ACM, New York, NY, USA, pp. 41–44, 2011.

[Cl11] Clark, Adrian; Dünser, Andreas; Billinghurst, Mark; Piumsomboon, Thammathip; Altimira, David: Seamless Interaction in Space. In: 23rd Australian Computer-Human Interaction Conference. OzCHI '11, ACM, New York, NY, USA, pp. 88–97, 2011.

[Dö16] Dörner, Ralf; Göbel, Stefan; Kickmeier-Rust, Michael; Masuch, Maic; Zweig, Katharina: Entertainment Computing and Serious Games - International GI-Dagstuhl Seminar 15283, Dagstuhl Castle, Germany, Revised Selected Papers. Springer International Publishing, 2016.

[DRC15] De Russis, Luigi; Corno, Fulvio: HomeRules: A Tangible End-User Programming Interface for Smart Homes. In: P33rd Annual ACM Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems. CHI EA '15, ACM, New York, NY, USA, pp. 2109–2114, 2015.

[GC15] Greenough, J.; Camhi, J.: The Internet of Things 2015: Examining How The IoT Will Affect The World. In: BI Intelligence. 2015.

[Ha11] Hachet, Martin; Bossavit, Benoit; Cohé, Aurélie; de la Rivière, Jean-Baptiste: Toucheo: Multitouch and Stereo Combined in a Seamless Workspace. In: 24th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology. UIST '11, ACM, New York, NY, USA, pp. 587–592, 2011.

[HLH15] Huang, Zhanpeng; Li, Weikai; Hui, Pan: Ubii: Towards Seamless Interaction Between Digital and Physical Worlds. In: ACM International Conference on Multimedia. MM '15, ACM, New York, NY, USA, pp. 341–350, 2015.

[Is08] Ishii, Hiroshi: The Tangible User Interface and Its Evolution. Commun. ACM, 51(6):32–36, June 2008.

[KVVM04] Koskela, Tiiu; Väänänen-Vainio-Mattila, Kaisa: Evolution Towards Smart Home Environments: Empirical Evaluation of Three User Interfaces. Personal Ubiquitous Comput., 8(3-4):234–240, July 2004.

[No93] Norman, D.: Turn Signals Are The Facial Expressions Of Automobiles. A William Patrick book. Basic Books, 1993.

[PE10] Paulheim, Heiko; Erdogan, Atila: Seamless Integration of Heterogeneous UI Components. In: 2nd ACM SIGCHI Symposium on Engineering Interactive Computing Systems. EICS '10, ACM, New York, NY, USA, pp. 303–308, 2010.

[RS15] Rueben, Matthew; Smart, William D.: A Shared Autonomy Interface for Household Devices. In: 10th Annual ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction Extended Abstracts. HRI'15 Extended Abstracts, ACM, New York, NY, USA, pp. 165–166, 2015.

[SJ15] Selfridge, Ethan; Johnston, Michael: Interact: Tightly-coupling Multimodal Dialog with an Interactive Virtual Assistant. In: Intl. Conf on Multimodal Interaction. ICMI '15, ACM, New York, NY, USA, pp. 381–382, 2015.

[STJ14] Singh, D.; Tripathi, G.; Jara, A. J.: A survey of Internet-of-Things: Future vision, architecture, challenges and services. In: 2014 IEEE World Forum on Internet of Things (WF-IoT). pp. 287–292, 2014.

[Ts14] Tsiourti, Christiana; Joly, Emilie; Wings, Cindy; Moussa, Maher Ben; Wac, Katarzyna: Virtual Assistive Companions for Older Adults: Qualitative Field Study and Design Implications. In: 8th Intl Conf on Pervasive Computing Technologies for Healthcare. PervasiveHealth '14, pp. 57–64, 2014.

[YK12] Yaghoubzadeh, Ramin; Kopp, Stefan: Toward a Virtual Assistant for Vulnerable Users: Designing Careful Interaction. In: 1st Workshop on Speech and Multimodal Interaction in Assistive Environments. SMIAE '12, pp. 13–17, 2012.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 931

Pattern Based Decision Tree Analysis for Risk Detection in Smart Cities

Matthias Scholz[1] and Gunther Piller[2]

Abstract: Increasing amounts of data on living environments and human interactions are becoming available. Their potential for valuable services improving the wellbeing of individuals is large and growing. This calls for an investigation of algorithms and system architectures that support possible use cases. In this paper we outline how pattern based decision tree analyses can be applied to the identification of risks caused by time-dependent effects from multiple influencing factors. For this purpose we apply the method to open data on car accidents and weather conditions. We also show how such systems can take advantage from up-to-date in-memory technology.

Keywords: Data Mining, In-Memory Computing, Smart City Services

1 Introduction

Detailed information on living environments and human interactions become more and more available. It spans wide areas covering e.g. transport, air quality, traffic, health, weather, municipal services, events and citizen data. Often this information is published through open data platforms like NYC Open Data [OD17] or London Datastore [LD17]. Fostering citizen engagement and opportunities for collaborations as well as smart systems and services for better living are typical goals of most offerings (for examples see e.g. [IS16, He16]).

To succeed, manifold challenges have to be overcome. This includes the collection of suitable data and their preparation, the identification of services with high added value, the development of appropriate algorithms, as well as the conception and implementation of underlying IT systems.

An interesting class of smart services aims at the identification and mitigation of risks caused by time-dependent effects from multiple influencing factors. Personal guidance for avoiding health hazards triggered by different air pollutants, weather conditions, individual factors and momentary personal constitutions are a typical example (see e.g. [Sc16]). Data for such services often come from multi-sensor networks including also people as sensors [Ci10, Co14, SR15].

In this paper we describe a promising algorithm and its implementation for such services.

[1] University of Applied Sciences Mainz, Lucy-Hillebrand-Straße 2, 55128 Mainz, matthias.scholz@hs-mainz.de
[2] University of Applied Sciences Mainz, Lucy-Hillebrand-Straße 2, 55128 Mainz, gunther.piller@hs-mainz.de

doi:10.18420/in2017_95

It builds upon sequential pattern mining for individual influencing factors. Frequent patterns are then used as features for classification. The resulting models can finally be used to evaluate the risk of momentary situations through the processing of real-time data [LC10, Sc16].

In order to examine the usefulness of the proposed method in a smart city context, it is applied to an analysis of weather and accident data obtained from NYC Open Data [OD17]. The corresponding prototype has been implemented upon the in-memory platform SAP HANA [SP17]. In addition we outline how requirements for typical applications of the discussed analysis methods in smart city or smart living environments can be satisfied through an appropriate design of the underlying IT system. For this purpose we sketch the architecture and programming model of the implemented prototype.

The paper is structured as follows: In Section 2 the data mining approach is introduced. Its application to open data from NYC is described in Section 3. Section 4 sketches the architecture of the underlying IT system. We finally conclude with a short summary.

2 Sequential Pattern Mining and Decision Tree Analysis

The presented method combines sequential pattern mining with classification through decision tree mining [LC10]. In this section the approach is described in general terms. Then a concrete application is discussed.

First, all data which might be related to the occurrence of considered incidents need to be combined into sequences. They describe the time development of potential influencing factors. The collected data are then prepared for data mining. Important steps are a possible segmentation of incidents into buckets with similar characteristics and a discretization of measurements of influencing factors.

As a next step sequential pattern mining is used to identify frequent sequences of influencing factors before moments with incidents and moments without. These frequent sequential patterns are then treated as features to characterize the original datasets. Based on these features decision trees can be derived for different segments of incidents. When all relevant influencing factors are taken into account, the resulting trees represent a set of rules with which the risk of incidents can be evaluated by means of actual measurements.

2.1 Sequential Pattern Mining

To identify frequent sequences of influencing factors one has to consider sequences $S = \langle s_1, s_2, \dots, s_n \rangle$ of temporally ordered values for corresponding measurements. In Section 3 we use one entry per day for all factors. For example, a sequence of length three for temperature contains the discretized temperature values for three subsequent days, e.g. $\langle cold, medium, high \rangle$. Depending on the nature of a particular influence factor, the

chosen daily entry can be determined differently, e.g. as an average, a minimum or maximum, or through accumulation.

For a particular factor all sequences of length *n*, e.g. *n = 3 days*, before days with incidents are collected within a dataset for high-risk sequences D_h. Sequences of similar length before days without incidents build a dataset D_l of low-risk sequences. This collection of sequences is carried out for all considered factors. Sequential pattern mining is then performed for all factors separately within high- and low-risk segments, i.e. based on the corresponding datasets D_h and D_l, respectively. In our approach we search for frequent sequential patterns with length from one to n. For sequences with length $1 < m \leq n$ we also consider patterns containing at most $m - 1$ arbitrary entries. In this way one can account for factors which are effective over a period of several days.

A common measure for the significance of a frequent sequential pattern *S* is its occurrence or *Support*, denoted by $\sigma\,(S, D)$. It amounts to the total number of input-sequences in the database *D* that contain *S* as a subsequence (see e.g. [Za01]). Further important measures are *Confidence* and *Lift* [Za01, HK11]. In Section 3 we use *Lift* for pattern pruning, i.e. the selection of patterns for the decision tree analysis. *Lift* measures to what extent the occurrence of sequences with *S* as subsequence is enhanced in the high-risk dataset D_h [HK11], i.e.

$$Lift\,(S) = \frac{\sigma\,(S, D_h)/\,|D_h|}{\sigma\,(S, D_h + D_l)/\,|D_h + D_l|}$$

Here $|D_{h/l}|$ denotes the total number of input-sequences in D_h and D_l, respectively. Further ways of efficient pattern pruning can be found in [Za01, HK11, AH14].

2.2 Decision Tree Mining

Following Lee et al. [LC10], the selected frequent sequential patterns for all factors are interpreted as features. The measured sequences before days with and without incidents are considered as transactions. These are then characterized by the presence or absence of the identified features – which can be interpreted as attributes of the transactions. In addition, one attribute describes whether an input-sequence belongs to a high- or low-risk dataset, respectively.

The transactions and their corresponding attributes are then taken as input for decision tree mining. The attribute for risk classification is set as a target for the mining process. The resulting tree itself is a binary tree. Each node queries the presence of a frequent sequential pattern.

3 Initial Analysis of Car Accidents and Weather Patterns

To study the method from Section 2 within a smart city context, we have applied it to data on car accidents from NYC Open Data [OD17] in combination with weather data from Weather Underground [We17]. The goal of this initial investigation was twofold: First, to examine the architecture and implementation of the discussed method, so that the benefits of current in-memory technology can be leveraged; second, to study framework conditions for a meaningful application of the presented method in smart city scenarios.

The relation of weather conditions and car accidents is an active field of research. In general, road traffic safety is the result of complex interactions of technical, environmental and behavioral factors (see e.g. [Pe04]). Analyses indicate that a base rate of crashes depending on non-weather factors exists while weather conditions are able to substantially push crash rates on days with bad weather. Also non-extreme weather conditions can have a contributing role – for instance in the case of driver fatigue [Pe15].



Fig. 1: Accident data from NYC on district level for a sample day classified as high-risk (orange), low-risk (blue), medium (green).

With a pattern based decision tree analysis one can study the influence of the temporal development of different weather factors on accidents. To examine this possibility we have taken data on car accidents in NYC from the year 2015. Extreme weather conditions with immediate impact, like ice or heavy snowfall, were excluded by considering only data

from spring to fall. The weather effects considered in such an approach could lead to changes of the base rate of accidents caused by other factors. Therefore we first have identified days with more than average accidents for individual district. Days with a number of accidents higher than two standard deviations from its average value were classified as high-risk, days with less than two standard deviations than average as low-risk. A typical distribution for a specific day is shown in Figure 1.

As potential influencing factors we considered hail, air pressure, humidity, fog, precipitation, visibility and temperature. Corresponding data from [We17] were captured as sequences with maximal length *n = 2 days*, before days with incidents and days without, building up the data sets D_h and D_l, respectively. With this input the sequential pattern mining and decision tree analysis from Section 2 was applied.

As a result we obtained sequential patterns for all districts and potential influencing factors. Of interest were patterns with $Lift > 1$. Several such patterns were identified. For example, averaging over all districts a frequent pattern with two sequential days of very high temperature ($Lift = 2{,}7$) and a frequent pattern with a strong change from high to very low visibility ($Lift = 2{,}3$) were found. For selected districts the lift of these and similar patterns was much larger – up to values close to 8.

Following the method described in Section 2.2, all patterns with relative high lift were taken as input for a decision tree analysis. Decision trees were trained with data from selected districts and tested against data from different ones. As a typical result, test runs for decision tree models based on patterns with $Lift > 1{,}4$ prior to days with an increase of accidents and patterns with $Lift > 1{,}2$ for days without an increase, yield the quality measures (see e.g. [HK11]): $Accuracy \approx 75\%$, $Negative\ Predictive\ Value \approx 87\%$, $Positive\ Predictive\ Value \approx 53\%, Specificity \approx 77\%$, $Sensitivity \approx 70\%$.

This first analysis indicates that weather patterns covering several days could have indeed an influence on car accidents. However, such effects certainly are mixed into effects driven by multiple non-weather factors, or extreme weather conditions with immediate impact. For more conclusive results analyses based on data spanning several years and multiple locations would be necessary. Also a segmentation of accidents according to the similarity of non-weather factors would be required. Characteristics relevant for this could span from regional differences in traffic infrastructure and conditions to details on drivers and involved vehicles [Pe15]. If weather patterns with significant risks for car accidents could eventually be verified, they might be used for preventing measures, like variable speed limits.

4 Implementation upon SAP HANA

In this section we describe the software system which has been used for the analysis explained in Section 3. Its architecture and implementation enables high-performance pattern based decision tree analyses for many different scenarios – in particular in the area

of smart systems for the improvement of individual living conditions. For example, it also has been applied to the analysis of bio signals and environmental data to provide personal guidance for individuals, who suffer from asthma and need to reduce their exposure to air pollutants [Sc16].

Starting point is the integration and processing of data from multiple different sources. Most relevant are environmental data from sensor networks or from generally available data services as well as data on conditions and activities of individuals and their interaction. Then data mining, i.e. feature identification and model building, has to be performed for large and scalable data volumes. Finally, the identification of risks needs to be carried out in real-time based on tested models and actual data.

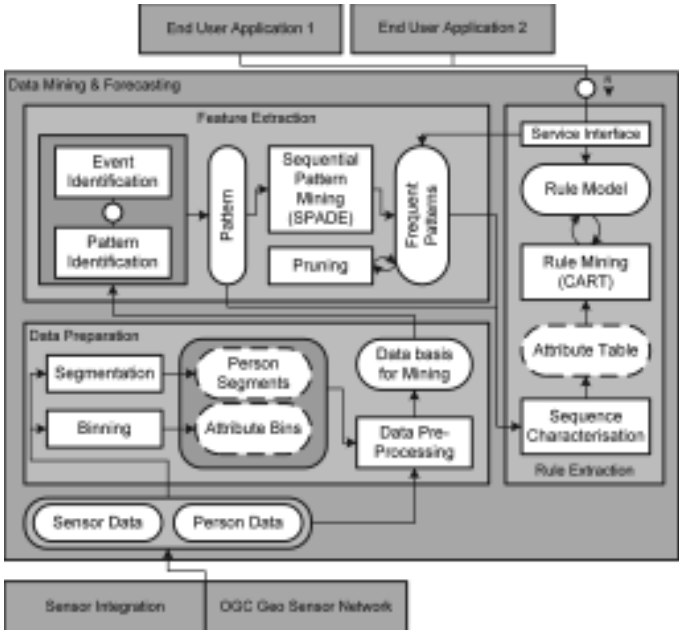


Fig. 2: Architecture of the component Data Mining and Forecasting.

Figure 2 shows the architecture of the system with focus on the data mining and forecasting components. The integration of data and their projection onto appropriate spatial-temporal references are carried out by the components Sensor Integration and OGC Geo Sensor Network which are described elsewhere [Sc16].

To enable high-performance data mining analyses of large data volumes, the in-memory platform SAP HANA is used. Feature identification and model building is carried out asynchronously, i.e. independent of the real-time evaluation of risks. Nevertheless short response times are needed also here, in particular for initial explorative analyses which are necessary for the identification of optimal mining parameters, like binning and segmentation, as well as for iterative improvements of forecasting models.

A light weight application for overall data processing and interactive mining steps, e.g. data binning and pattern pruning, has been implemented with SAP HANA Extended Application Services and SAP UI5. Data intensive calculations and data querying are handled through appropriate interfaces in the database using the SQL engine and the Application Function Library with the Predictive Analytics Library (PAL) [SP17]. As general guideline de-normalized data models have been chosen; write operations were avoided; data intensive application logic has been largely embedded into the database; stored procedures have been parallelized wherever applicable.

Examples for virtual tables are indicated in Figure 2 for segmentation, attribute bins and attribute tables. Also several opportunities for parallelization exist: The functional components for binning, segmentation, data pre-processing, pattern identification and sequential pattern mining can be executed independently in parallel for different types of data and segments.

Data preparation as well as the identification of input-sequences before days with and without incidents is carried out upon HANA itself. For sequential pattern mining an R implementation of the SPADE algorithm is applied [Ha15]. After identified frequent sequential patterns have been obtained, pattern pruning is currently carried out interactively. For decision tree mining the CART algorithm of PAL [SP17] has been used. As outlined in Section 2, a table with transactions and corresponding attribute values is used as input. It is obtained by comparing frequent sequential patterns with input-sequences. Target attribute for the CART algorithm is the attribute value for the occurrence of an incident – a car accident for the use case from Section 3. It describes whether an input sequence belongs to a high- or low-risk dataset. As output the algorithm provides a table containing a PMML tree model. The model can be transmitted via an OData interface to the applications of end-user, e.g. mobile applications, for real-time execution based on actual data.

5 Summary

In this paper we have presented a data mining method that can be used for the identification of risks caused by time-dependent effects from multiple influencing factors. We have shown how pattern based decision tree analyses can be used for new services in the context of smart cities by applying it to open data on car accidents and weather information. Finally a suitable system architecture leveraging the advantages of current in-memory technology has been presented. We look forward to use the described method and application for further scenarios within the context of intelligent systems for better living environments.

Supported by the German Federal Ministry for Economic Affairs and Energy and the HPI Future SOC Lab.

References

[AH14] Aggrawal, C. C.; Han J.: Frequent Pattern Mining. Springer, 2014.

[Ci10] CitiSense: Project CitiSense 2010, sosa.ucsd.edu/confluence/display/CitiSensePublic/CitiSense, visited on 2017/03/30.

[Co14] Copenhagen Wheel: Project The Copenhagen Wheel 2014, senseable.mit.edu/copenhagenwheel, visited on 2017/03/30.

[Ha15] Hahsler, M.: Package 'arules'. https://cran.r-project.org/web/packages/arules/arules.pdf, 2015, visited on: 24.04.2017.

[He16] Helfert, M. et al.: Smart Cities, Green Technologies, and Intelligent Transport Systems. Proc. 4th International Conference, SMARTGREENS 2015, and 1st International Conference VEHITS 2015, Lisbon, Springer, 2016.

[HK11] Han J., Kamber M.; Pei J.: Data Mining: Concepts and Techniques. Elsevier, 2011

[IS16] ISC2: Proceedings Smart Cities Conference (ISC2) 2016 IEEE International. IEEE, 2016.

[LC10] Lee, C. H.; Chen, J. C.; Tseng, V. S.: A Novel Data Mining Mechanism Considering Bio-Signal and Environmental Data with Applications on Asthma Monitoring. Computer Methods and Programs in Biomedicine 101 (1), pp. 44-61, 2010.

[LD17] London Datastore, data.london.gov.uk, visited on 2017/03/30.

[OD17] Open Data NewYork, opendata.cityofnewyork.us, visited on 2017/03/30.

[Pe04] Peden, M. et al.: World Report on Road Traffic Injury Prevention. World Health Organisation, Geneva, 2004.

[Pe15] Perrels, A. et al.: Weather Conditions, Weather Information and Car Crashes. ISPRS International Journal of Geo-Information 4.4, pp. 2681-2703, 2015.

[Sc16] Scholz M. et al.: Capture and Analysis of Sensor Data for Asthma Patients. Proc. 24th European Conference on Information Systems (ECIS 2016), Istanbul, 2016.

[SP17] SAP PAL: SAP HANA Predictive Analysis Library. https://help.sap.com/viewer/'2cfbc5cf2bc14f028cfbe2a2bba60a50/2.0.01/en-US, visited on 24.04.2017.

[SR15] Sagl, G.; Resch, B.; Blaschke, T.: Contextual Sensing: Integrating Contextual Information with Human and Technical Geo Sensor Information for Smart Cities. Sensors 15, pp. 17013-17035, 2015.

[We17] Weatherunderground 2017, wunderground.com/weather/api/. visited on 2017/03/30.

[Za01] Zaki M. J.: SPADE: An Efficient Algorithm for Mining Frequent Sequences. Machine learning 42 (1-2), pp. 31-60, 2001.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 939

Using Sensor Data of Widespread Smart Home Devices to Save Energy in Private Homes

Peter Muth

Abstract: This paper proposes an approach for using sensor data of smart home devices to optimize energy consumption in private homes. For many years, radiator thermostats have been used to keep room temperatures at given desired levels. Smart home thermostats allow the temperature to be controlled by home automation software, advanced models are connected to sensors indicating open windows or sun shining into the room. In contrast to these advances, basic optimizations of the heating system like performing hydraulic balancing or minimizing flow temperature are rarely performed by the plumbers, because the optimization process is time consuming and requires data that are not available at installation time. In this paper, we describe how data delivered by smart home devices can be used to optimize the heating system. Using our approach, hydraulic balancing and minimizing flow temperature can be easily performed by the house owner without the help of a plumber, resulting in substantial energy savings.

Keywords: Smart Home, Smart Thermostats, Hydraulic Balancing, Energy Saving, Sensor Data, Flow Temperature

1 Introduction

Devices like smart thermostats have attracted house owners' attention to increase comfort and to save energy [Re16]. They already have a wide installation basis. Smart thermostats save energy by precisely regulating room temperature and by lowering the temperature during the night or at times nobody is at home. However, the 30% potential for energy savings as promised even by market leaders [Dan17] is rarely achieved. Conventional thermostats are already very good at keeping the rooms temperature at the desired level. Nowadays, new homes are well insulated, many older homes are already brought up to new insulation standards. Hence, the effectiveness of night setback for room temperature is almost zero. The only real use case for timer based or remote setting of different temperature levels are longer absences from home (of the whole family).

However, data from smart thermostats together with data from other smart home sensors can be used to substantially optimize a heating system. For many years, hydraulic balancing is considered a very important basic optimization for each heating system. Empirical studies for different types of houses show that it typically saves energy between 10 and almost 30 percent [EvL14]. In Germany, plumbers are required to perform hydraulic balancing at installation time (VOB/C, DIN 18380). In the past, they used calculation sheets to compute the settings of the radiators balancing knobs based on parameters like room size, radiator size and valve type. Recently these sheets have been substituted by programs and smartphone apps [Dan17a]. In practice hydraulic, balancing

doi:10.18420/in2017_96

is often omitted. Even with the help of modern apps, gathering all the required data and performing the necessary computations seems to be too much for the average plumber.

Unbalanced heating systems require higher flow temperatures and stronger pump pressures than necessary. This wastes energy, but remains undetected by house owners. In addition, even well balanced heating systems require re-balancing if substantial parameters change, typically when a home's insulation is improved, e.g. by installing new windows. In practice, in such cases re-balancing is almost never performed.

Physically, hydraulic balancing means adjusting a little turning knob on each radiator as shown in Fig. 1. Almost all modern radiator thermostat valves have such a knob, very old ones can be upgraded by a plumber. Adjusting the knob can easily be performed after the thermostat has been taken off, i.e., has been unscrewed by turning a large ring or bayonet catch. This is identical to the steps that are required when replacing old thermostats by smart thermostats and can be easily performed by house owners, without opening the water circulation.



Fig. 1: Red turning knob for hydraulic balancing, © Haustechnik verstehen, Martin Schlobach

Advanced smart thermostats allow the setting of a maximum for the position of their valves [ELV13]. In case such thermostats are used and the setting is available for update by the home automation software, the whole process can be fully automated for continuous optimization.

Based on live data provided by smart thermostats, we propose to perform hydraulic balancing in a completely different approach compared to the traditional computations. Our algorithm monitors the actual balance and derives adjustment values until an adequate balance is achieved. The required data is gathered from smart home devices and the algorithm can be run as part of the smart home software, e.g. as an app. Even in heterogeneous environments with smart thermostats from different vendors our approach is applicable if integrating platforms like OpenHAB [OH17] or FHEM [FHE17] are used. Reading temperature and valve position data poses no challenges to integration.

To the best of our knowledge, performing hydraulic balancing based on live data from

smart thermostats is a novel approach, as the heating systems vendors' apps, e.g. [Dan17a], use the traditional computation approach.

This paper is organized as follows. In chapter 2, we show how sensor data of smart home devices can be used to derive the correct balancing values for the radiators in a home. We provide an algorithm that can be implemented in a small app, showing the optimized settings for each radiator or performing the settings automatically. Chapter 3 discusses how the flow temperature can be minimized based on the now optimal hydraulic balance. Chapter 4 describes ideas for further optimizations.

2 Optimizing Hydraulic Balance

Hydraulic balancing means optimizing the flow of hot water through all radiators such that each radiator can heat its room up to the desired temperature. The optimization goal is to achieve this with a minimal flow temperature. A radiator that takes more than its share of hot water "steals" water from other radiators. This is a typical situation if distances between radiators and the boiler vary or the radiators are installed on different floors. See Figure 2. Unbalanced systems require higher flow temperatures than necessary, i.e. the burner consumes more energy compared to a balanced situation [Kö14]. Hydraulic balancing achieves an optimal balance between all radiators. It is not a process of optimizing a single radiator and can therefore not be achieved by smart thermostats alone, unless they communicate via some optimization software as derived in this paper.

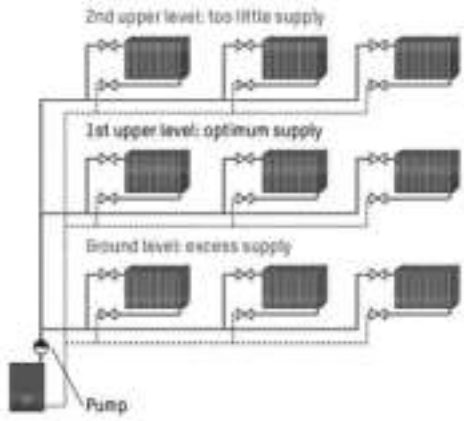


Fig. 2: Unbalanced heating system, © Taconova

Hydraulic balancing can save substantial amounts of energy. Fig. 3 shows estimates of savings based on studies of the technical University of Dresden and case studies of several (large) buildings. The savings are in the same range as savings achieved by replacing unregulated radiator valves by simple thermostat valves, an optimization almost every home owner has already implemented because of the high savings that are achieved.

Because of this potential, German plumbers are required to perform hydraulic balancing at installation time of a new heating system. However, Fig. 4 shows that this is rarely performed in practice, indicated by the low percentages of houses that have hydraulic balancing.

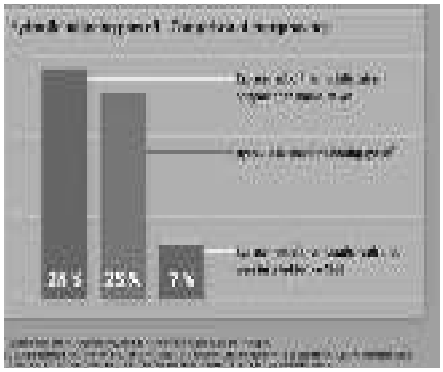


Fig 3: Hydraulic Balancing: Savings

© IMI Hydronic Engineering

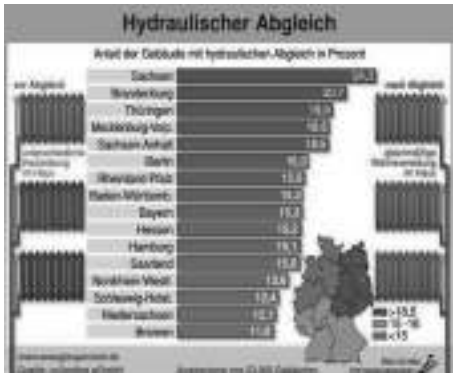


Fig. 4: Buildings with hydraulic balancing

© co2online GmbH

Hence, a hydraulic balancing process that can be performed by the house owner or which is even fully automated can substantially contribute to energy savings.

In detail, an unbalanced system causes two kinds of problems:

1. In an unbalanced system, remote radiators do not get hot enough. Of course, in this situation the user complains and the plumber will increase the flow temperature. Modern heating systems even perform this increase automatically if the remote radiator is in the so-called reference room monitored by the heating system (where the remote control of the heating system is installed). Plumbers frequently make remote rooms the reference room to avoid user complaints, thereby wasting energy. Hence, many heating systems operate with higher flow temperatures than necessary. This results in distribution losses.

2. In an unbalanced system, the flow speed through different radiators varies substantially. A high flow speed results in high return flow temperatures. The overall return flow temperature at the burner gets higher in case there are radiators with high return flow temperatures in the system. This causes not only high distribution losses, but also decreases the efficiency of the burner. Modern low-temperature burner use the energy in the hot exhaust to additionally heat the water, but this only works in presence of low return temperatures. In addition, the switching frequency of the burner increases, as the returning hot water is quickly heated up again, causing the Burner to switch off and on frequently.

Unfortunately, many heating systems run poorly balanced, for two reasons:

1. The house owner is unable to detect the poor balance unless the heating system is so extremely unbalanced that the maximum flow temperature of the burner is not sufficient to heat remote radiators. Given the safety margin in the plumber's calculations, this is rarely the case.
2. Plumbers do the hydraulic balancing by performing simple calculations that disregard many important factors. A precise balancing can only be achieved by measuring the pressure of the feed line of each radiator and adjusting the balance until all pressures are equal. In practice, this is never performed as it requires installing pressure gauges into the heating system.

In an ideal situation, all valves of all radiators in all rooms are constantly fully open, and the burner produces only enough energy needed to keep all rooms at their desired temperatures. Thermostats need to close a radiators valve only if there is additional energy injected into the room, e.g. because the sun shines through a window. Radiator sizes are calculated by the plumber based on this setting, plus a safety margin. For a given maximum flow temperature and the lowest possible (assumed) outside temperature, the size of a radiator must be sufficient to heat the room with the valve fully open.

With all valves fully open, radiators close to the burner get too hot, radiators far away get too cold. To balance temperatures of the radiators, radiators close to the burner need additional flow resistors. Adjustable resistors are already built into modern radiator valves as shown in Fig. 1. Adjusting them achieves the desired hydraulic balance.

Using time series of temperature and valve position data, we can easily detect imbalances as follows: Given the typical situation that hydraulic balancing has never been performed, all balancing valves of all radiators are fully open. Thermostats regulate a rooms temperature by opening and closing their valve. The valve of a radiator close to the burner will be almost fully closed to not overheat the room. Valves of radiators far away from the burner will be constantly wide open. By comparing the mean values of the thermostats valve positions, we can detect the hydraulic imbalance.

Our algorithm works as follows: We compute the mean values *AvgPos(i)* of all valve positions *valve(i)* of all rooms R_i over a period of n days every m Minutes (e.g. $n = 5$ and $m = 10$), and the overall mean *TotalAvg* over all *AvgPos(i)*. A zero valve position means the valve is fully closed. If the mean value of the valve positions of a radiator is more than a threshold Δ_v of about 10% away from the overall mean, the user is asked to open or close the balancing valve *hydPos(i)* of this radiator by a tick. If a smart thermostats max. open position *MaxValvePos(i)* can be controlled by software, user action is not required and the process of balancing occurs automatically. Note that increasing *hydPos(i)* means closing the balancing valve, which is equivalent to decreasing the max. open position *MaxValvePos(i).* This process is repeated until hydraulic balance is achieved, i.e., all means are within the given range Δ_v. Deriving adequate values for Δ_v is subject of further research and should be based on field studies. If Δ_v is chosen too high, optimization

potential remains unexploited. If Δ_v is too low, the algorithm doesn't terminate. In case balancing is achieved by setting the maximum valve position by software, termination is not required. In this case, the algorithm constantly optimizes the balance.

```
Repeat
  //Array of sets of valve positions of i rooms
  ValvePositions[i] := {}
  Over n days, perform every m minutes:
    for each room Ri
      if (sun(i) < smin) and (|setpoint(i) – act(i)| < ∆t)
        add valve(i) to ValvePositions[i]
  After n days:
  AvgPos(i) = avg(ValvePositions[i])
  totalAvg = avg(AvgPos(i))
  for each room Ri:
    If (|totalAvg – AvgPos(i)| > ∆v)
      If (totalAvg > AvgPos(i))
        Manually by User: Increase hydPos(i) by one Tick
        Automatic: MaxValvePos(i)--
      else
         Manually by User: Decrease hydPos(i) by one Tick
        Automatic: MaxValvePos(i)++
Until for all rooms Ri: |totalAvg – AvgPos(i)| <= ∆v
```

Under certain circumstances, valve measurements should not be considered for computing the mean value:

1. Additional energy is injected into the room, for example the sun shines through a window. In this case the valve closes, but the closing should not affect the computing of the hydraulic balance. This situation can be detected by sun sensors delivering a measure for the light intensity *sun(i)*. Many rooms already have such sensors for automated blinds. A value of *sun(i)* above threshold s_{min} indicates that the sun shines into the room.
2. The user has just altered the desired room temperature *stepoint(i)*, and the thermostat is now wide open or almost fully closed to adjust the room temperature from its actual value *act(i)*. This valve setting must not impact the setting of the hydraulic balance. We detect such a situation by comparing the difference between actual and desired temperature against a threshold Δ_t of about 1 degree.

3 Optimizing Flow Temperature

Modern heating systems adjust the flow temperature automatically by measuring and regulating the temperature of a reference room. The controller of the heating system must be installed in this room, and he thermostat of the reference room must be kept fully open. The flow temperature is then adjusted such that the temperature of the reference room is kept at its desired level. Of course, the reference room must not be subject to additional energy injection such as sunshine.

Many installations don't have a room that qualifies as a reference room, or the controller is installed in the living room for user convenience. In these cases, our algorithm can be used to optimize flow temperature without a reference room

If at the end of the hydraulic balancing process, the overall mean *totalAvg* of valve positions is lower than say 80% open, the flow temperature should be lowered. In this case, the algorithm of chapter 2 can also be used. Lowering the flow temperature does not change the hydraulic balance. Therefore, no adjustments of hydraulic balancing valves by the user are necessary. Instead, only *totalAvg* of valve positions as computed by the algorithm is used. Adjusting the flow temperature should be done in small decrements of 1-2 degrees until *totalAvg* is above 80%. Waiting a few days between adjustments should be sufficient for the system to stabilize. In heating systems where the flow temperature can be controlled by software, this process can be fully automated.

In case the flow temperature is adjusted manually, the optimization for a low flow temperature should be repeated for different ranges of outside temperatures. This way, optimal settings for the flow temperature depending on the outside temperature can be determined. Typical heating systems only allow (almost) linear dependencies between outside temperature and flow temperature, which may result in too high flow temperatures over longer periods of time.

All these optimizations should be repeated whenever substantial parameters of the building are changed, for example by installing new windows in some rooms or better isolating the whole building.

4 Further optimizations using sensor data

Modern highly insulated homes require controlled ventilation to avoid mildew. Unless ventilation is controlled by a dedicated ventilation system, airing rooms manually by opening windows is required. Sensor data can aid users in doing this. To warn users when they forget to close windows, the smart home can send messages to a user's smartphone. In addition, messages can also be sent when the thermostat's humidity sensor detects a too high humidity for a longer period, indicating it's time for airing the room.

5 Summary

In this paper, we have shown how time series of sensor data collected by smart home devices can be used to optimize a home's heating system to save energy. The basic principle for the optimization process is well known for years, and plumbers are even required to perform this optimization at installation time. However, studies show that this is rarely performed. We have presented an algorithm for deriving the optimization parameters form sensor data and have shown how house owners can simply perform the optimizations by themselves. With advanced thermostats, as already on the market, the optimizations can even be done automatically without user intervention.

References

[Dan17] Fa. Danfoss, http://smartheating.danfoss.de/einsparungen/heizkosteneinsparungen/ retrieved 26.04.17, 2017

[Dan17a] Danfoss Heizungs-App, https://play.google.com/store/apps/details?id=com.danfoss.hs retrieved 06.06.17, 2017

[ELV13] ELV: Homematic: Elektronischer Funk-Heizkörperthermostat, Manual, https://files.elv.com/Assets/Produkte/10/1051/105155/Downloads/105155_thermostat_um.pdf, retrieved 26.04.17, 2013

[EvL14] Evangelische Landeskriche in Baden, Abteilung Bau, Kunst & Umwelt: Hydraulischer Abgleich und Heizungspumpentausch, Abschlussbericht, 2014

[FHE17] FHEM, http://www.fhem.de

[Kö14] Königstein, T: Ratgeber energiesparendes Bauen und Sanieren: Neutrale Fachinformationen für mehr Energieeffizienz, 6. Aufl., Eberhard Blottner Verlag, 2014.

[OH17] OpenHAB, http://www.openhab.org

[Re16] Reitz, P.: Smart Homes. Potentiale und Herausforderungen von Wohnimmobilien mit intelligenter Gebäudetechnik und die Auswirkung auf das Energiemanagement, Grin Publishing, 2016

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 947

Knowledge-Based Self-Organization of Traffic Control Systems

Matthias Jurisch[1] and Bodo Igler[1]

Abstract: Traffic control systems operating at the level of intersections can interact with each other. This interaction can be implicit (traffic flow) and explicit (exchange of sensor data). A central issue in this context is how to react to structural changes in a system of traffic control systems. This paper proposes to model all aspects which are relevant to the connection of these systems as ontologies. It further proposes to adapt to structural changes by taking inferences drawn from these ontologies into account. This work in progress is presented with the help of a concrete application example. A software prototype has been developed to demonstrate that this approach is technically feasible.

Keywords: Self-Organization; Ontology; Traffic-Control

1 Introduction

In increasingly complex, heterogeneous information systems, automating integration is a very important task. Systems that have to work together but have not been designed to cooperate at runtime are called *interweaving systems* [To16]. These systems need to behave consistently with their environment which consists of other systems and the communication with them. We consider the exchange of data and physical interactions as the communication between the systems. Therefore, a central problem of this field is how changes should be addressed. A model of the environment can be expressed using ontologies based on description logics. Using ontologies in this context allows developers to benefit from a rich set of existing standard tools that are easy to use but nevertheless provide a sufficient expressiveness. In this paper, we propose an ontology-based approach for modeling system environments and show how the model can be adapted to changes. From this information, each system needs to construct its own model of the environment. As an application example for interweaving systems we use autonomic traffic control at the level of intersections. Each system represents one intersection.

Our approach is applied to manage a model that is used to select traffic data from related junctions. This data can be used to classify traffic situations and adapt signaling plans based on a set of rules and information observable in traffic data. When systems at other junctions change (e.g., they are deactivated or fail, are reactivated, or underlying structures

[1] Department of Design - Computer Science - Media, RheinMain University of Applied Sciences, Unter den Eichen 5, 65195 Wiesbaden, matthias.jurisch@hs-rm.de, bodo.igler@hs-rm.de

doi:10.18420/in2017_97

change because of roadblocks, congestion, or other traffic conditions), the model needs to be adapted to find e.g., replacements for missing data sources.

Similar problems have been addressed in approaches to the mapping adaption problem [VMP03]. This problem deals with adapting mappings between data models to changes. We tackle this issue by applying an inference-based difference computation approach [Ju16]. Our approach is able to correctly classify data measurements from other junctions and to adapt the environment model of each traffic control system to these changes. The problem lying at the core of our approach is also relevant to various areas regarding self-management and the engineering of distributed technical systems. Since these systems get more complex with technological advances, it is especially important to make approaches easily maintainable. Ideally, most of the work should be conducted using standard modeling technologies and programming should be used as little as possible [Se03].

The remainder of this paper is structured as follows: Section 2 discusses related approaches from the literature and identifies the core research questions of this work. The application example used to demonstrate our approach is presented in Section 3. The approach itself is presented in Section 4. This section discusses how the model of the application example is structured (Section 4.1), how differences between different versions of models are computed (Section 4.2) and how the approach is implemented (Section 4.3). Advantages and disadvantages of the approach are discussed in Section 5. Section 6 gives a conclusion.

2 Foundations and Related Work

Current approaches for autonomic traffic control, e.g. [STR16], typically consider intersections that do not exchange traffic data or other information to improve each other's traffic management performance. Using information about traffic congestions or other traffic conditions at related intersections can be useful, especially in situations where phased traffic lights are used. [Pr09] presents a peer-to-peer synchronization mechanism that allows intersection-based traffic control systems to agree on a common signaling phase. However, these systems do not consider structural changes. While ontologies have been used in the field of traffic control, their usage focuses on providing a uniform view on the sensor data of traffic control systems. E.g., [Fe16] proposes an ontology-driven approach to traffic control systems that uses an ontology layer as a standardized representation of traffic situations. However, it is still unclear how structural changes should be addressed in the context of these systems. They might receive information that contradicts or fundamentally changes the local view, i.e., the internal knowledge of the system used to interpret traffic data and adapt the signaling plans. In summary, the remaining issue is how to address structural changes in this application domain.

One possibility to address this issue is to base the approach on ontology mapping adaption. Problems similar to mapping adaption have been studied in the context of database and schema mapping research. An incremental approach was proposed by [VMP03]. It reacts to

changes based on rules defined via change patterns. Each pattern defines a corresponding modification for the mapping. Another approach is based on the composition of mappings [YP05]: A new mapping between one model a and an evolved version b' of a model b, where a mapping between a and b already exists, is created by a composition of the mapping between a and b and a mapping between b and b'. [Gr13] have applied these ideas to ontology mappings. While inferences could be considered when working with ontologies, the impact on the inferences of ontologies on the mapping adaption is not taken into account by this approach. A recent survey on this subject has concluded that current approaches do not consider formal axiom-based-ontologies but focus on simple *is-a* and *part-of* hierarchies [GPR16]. A survey of the state of the art in mapping adaption comes to similar conclusions and identifies the question of how to consider the semantics of changes and reuse knowledge from old mappings [DPRD15]. To consider the semantics of ontologies, the inferences that can be drawn from them need to be taken into account. The issue at the core of our research is how inferences can be included into the mapping adaption process and how this idea can be applied to adapting environment models of traffic control systems to structural changes.

3 Application Example

We will demonstrate our approach with the help of an interweaving system example: A traffic control system managing an intersection uses traffic measurements to optimize its signaling plan. The changes we consider are (1) addition and removal of traffic control systems and (2) traffic congestions or road blocks. These changes are considered by each individual system on the intersection level.

In our model, at each intersection the traffic flow in and out of the intersection is measured for every road entering the intersection. To optimize the traffic flow management process these measurements are exchanged with systems at other intersections performing the same task. To reduce the effort needed to design the system and make it more scalable, the traffic control systems themselves find out what data from remote intersection is relevant to them. Data that is determined to be relevant is included in the traffic management process.

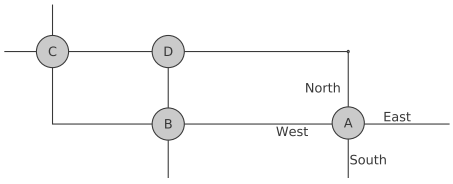


Fig. 1: Map of the application example

A map of the intersections used as application example in this paper is depicted in Figure 1. The junctions *A, B, C* and *D* are depicted as yellow circles, roads are shown as black lines. Lines not connected to intersections lead to areas outside of the scope of our example. The identifiers of roads leading to the intersections are exemplarily depicted for intersection

A. The traffic management systems exchange sensor data. Aggregated sensor values of all intersections are compared and a correlation score is computed. It is also possible to only consider the closest intersections to make the computation of correlation scores scalable. Sensor readings with the highest correlation score are used to make decisions on signaling plans. When a system's model of available data is complete, it can locally apply its traffic management strategy.

4 Approach

To adapt the internal model of each traffic management systems, we apply an approach for easy integration and data selection. To reach this goal, we use three models. A global model represents the only shared global information and contains only schematic knowledge about available data. A correlation model contains statistical information about the connections between intersections. A local environment model contains mappings between local requirements and remote data sources. When changes occur, rules based on the aforementioned correlation scores and connections define how to adapt the mapping. The changes are evaluated on differences of inferences that can be drawn from the model.

4.1 Modeling

To represent the environments of the intersections, each intersection has access to three ontologies: (1) a global ontology that contains schematic knowledge about the data provided by all intersections, (2) a local correlation ontology that holds information on how the local system is connected to other intersections (3) a local ontology of each intersection that connects local data requirements to data providers from remote intersections via an ontology mapping. In this way, the global ontology serves as a kind of interface format for the data provided by each intersection. To allow reasoning in resource-constrained settings, the models heavily rely on subset relations that even primitive reasoners can process efficiently.

A graffoo diagram [Fa14] of the local ontology for intersection A including a mapping to the global ontology is depicted in Figure 2. In this type of diagram, classes are represented as rectangles, data types are depicted as rhombuses and instances are represented by circles. Classes that are part of the global view are depicted in light blue. Every *Intersection* instance can be related to a timestamp and a sensor reading. All data that is relevant to traffic planning decisions is stored as an instance of this class. From a global perspective, there is one direct subclass[2] for each intersection. The classes represented in this diagram (*A, B, C, D*) correspond to the intersections from the application example. Intersection classes have one direct subclass for each entry into the junction (e.g., *BEastIn, DWestIn*). This modeling approach does not rely on the specifics of the application example, since intersection classes and subclasses for junction entries can be automatically generated in the general case.

[2] The semantics of subclass relations is used to express subset relation in this paper.

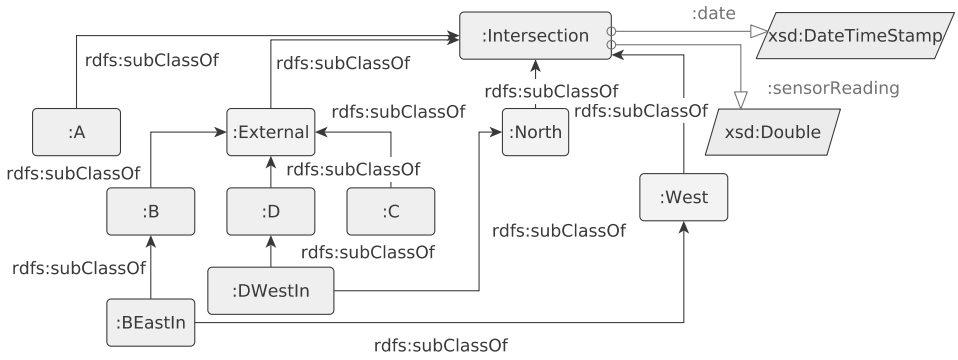


Fig. 2: Conceptual model of local ontology *A* including mapped entities from the global view

The local ontology classes for intersection *A* are shown in yellow. Each intersection needs data from remote intersections. The local ontology is used to connect local needs for data from remote junctions to the respective data providers. This view also specifies which parts of the model are external, i.e., not directly measured at the current intersection. Hence, in the presented example *B, C* and *D* are subclasses of *External*, while *A* is not. To express that an external data source is needed, the classes *North* and *West* are used. To express that a need for data is fulfilled by a data source, a subclass relation is stated (e.g., data source *BEastIn* is a subclass of *West*).

To determine which of these local classes should be connected to which global classes, information regarding statistical traffic correlations is used. We call this information background knowledge, since it provides additional information regarding the structure of the application example. The details for the computation of this correlation are out of the scope of this paper. We therefore take in our example the correlation values as given. A graffoo diagram of the conceptual model of this background knowledge at intersection *A* is shown in Figure 3. Correlation data entities are shown in pink, items from the local model in yellow and global parts are shown in blue. The correlation between two roads entering intersections is represented by the class *CorrelationEntry*. This class is related to the classes *LocalConnection*, which represents the local driveway and the class *NamedConnection*, which represents the remote junction data. Figure 3 contains an example for a correlation between *A West* and *B East*, represented by the instance *WestBEastIn*. This type of correlation exists for all pairs of roads leading to intersections and determines which connections shown in Figure 2 are established, i.e., the correlation data is used to adapt the local ontologies to changes.

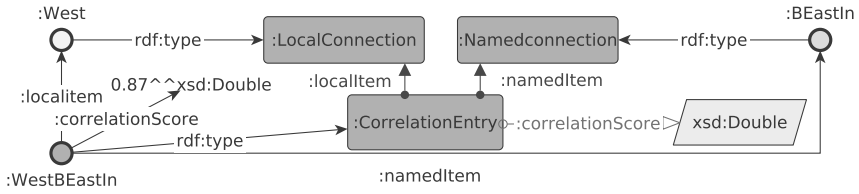


Fig. 3: Conceptual Model of Correlation Data

4.2 Adapting to Changes

Since connections between local and global data are modeled through ontology mappings, an adaption of the local ontologies is required when changes occur. To adapt to changes, each traffic control system executes an algorithm based on an approach described in [Ju16]: When changes in the environment occur, each system has to evaluate the semantics of these changes. Semantics of the knowledge base k are defined as the set of inferences $\inf(k)$ that can be drawn from the model using standard ontology engineering tools. It is possible to compute differences of the inferences Δ_{inf} of the knowledge base k before ($\inf(k)$) and after the change ($\inf(k')$). One example for a relevant change is the deletion of a subclass of *External*, which would occur in the event of the removal of a traffic management system. Replacement candidates are found based on the correlation entries described in Section 4.1.

When differences are found, Δ_{inf} is searched for entries that are relevant to instances of the class *External*. These changes indicate which connections need an update. The best candidates for an update are found using the following SPARQL graph pattern that is executed on the correlation data ontology described in Section 4.1:

```
SELECT ?dataClass  ?score WHERE {
  ?corrItem :namedItem ?dataClass;
  :localItem <"+connectionNeedsNew.getURI+">;
  :correlationScore ?score
} ORDER BY DESC(?score)
```

In this query, `connectionNeedsNew.getURI` is replaced by the URI of the connection that needs an update. The results are all data classes that have a correlation with the connection that needs a new data input, ordered by correlation score. The results of this query are then checked for consistency and the mapping statements in the local ontology are updated.

4.3 Implementation

To demonstrate that the presented approach can work, we implemented a prototype. All models are represented as OWL ontologies [Hi09] and accessed using the Jena API [Ap17].

The prototype reads in two versions of a local ontology according to the example described in Section 3. The implementation contains a domain-independent framework that computes the inference differences Δ_{inf} using the internal Jena Reasoner and provides hooks for reaction to changes. Using these hooks in the domain-specific part of the prototype, reactions are based on graph patterns formulated in SPARQL to find the best candidates for mappings depending on occurred changes and background knowledge. To test the implementation, we used two structural change scenarios for the described application example. The first scenario is a removal of an intersection, the second an addition. The prototype was able to propose the correct changes to the mapping in each scenario.

5 Discussion

The domain-specific aspects of the approach were implemented with very few lines of source code (less than 100 lines of scala code). The remainder of the domain-specific implementation was accomplished by formulating ontologies using standard semantic-web tools. This is a major advantage of this approach. Having more parts of the approach specified in a standardized format with explicit semantics means fewer costs for adapting the software to changes in the environment. This also means that fewer code changes are required to adapt the approach to other application domains.

To implement the proposed process, no domain-specific modeling tools need to be created. Engineers can use freely available tools that have been proven to work in the ontology engineering community. When problems occur, engineers can turn to this community for help. The way the approach is structured, developers can focus on invariants and rules that describe how the systems should react to changes, which facilitates a clear separation of structural and behavioural aspects.

6 Conclusion

In this paper, we presented an approach to the management of ontology mappings and demonstrated how it can be used to manage structural changes in autonomic traffic control. We have shown that this process can be implemented mainly using semantic web technologies. The main advantages of this approach are the conceptual separation of different aspects and the reliance on standard modeling languages. As future work building on these ideas we suggest a quantitative evaluation of the approach and its application to traffic control systems. Furthermore, we consider an application to other areas, like maintaining mappings in software engineering repositories or other use cases for interweaving systems.

References

[Ap17] Apache Foundation: Apache Jena. 2017. `https://jena.apache.org/`, website [retrieved: May, 2017].

[DPRD15] Dos Reis, Julio Cesar; Pruski, Cédric; Reynaud-Delaître, Chantal: State-of-the-art on Mapping Maintenance and Challenges Towards a Fully Automatic Approach. Expert Systems with Applications, 42(3):1465–1478, 2015.

[Fa14] Falco, Riccardo; Gangemi, Aldo; Peroni, Silvio; Shotton, David; Vitali, Fabio: Modelling OWL ontologies with Graffoo. Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics), 8798:320–325, 2014.

[Fe16] Fernandez, Susel; Hadfi, Rafik; Ito, Takayuki; Marsa-Maestre, Ivan; Velasco, Juan: Ontology-Based Architecture for Intelligent Transportation Systems Using a Traffic Sensor Network. Sensors, 16(8):1287, 2016.

[GPR16] Groß, Anika; Pruski, Cédric; Rahm, Erhard: Evolution of Biomedical Ontologies and Mappings: Overview of Recent Approaches. Computational and Structural Biotechnology Journal, pp. 1–8, 2016.

[Gr13] Groß, Anika; Dos Reis, Julio Cesar; Hartung, Michael; Pruski, Cédric; Rahm, Erhard: Semi-automatic Adaptation of Mappings between Life Science Ontologies. Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics), 7970 LNBI:90–104, 2013.

[Hi09] Hitzler, Pascal; Krötzsch, Markus; Parsia, Bijan; Patel-Schneider, Peter F.; Rudolph, Sebastian, eds. OWL 2 Web Ontology Language: Primer. W3C Recommendation, 27 October 2009. Available at http://www.w3.org/TR/owl2-primer/.

[Ju16] Jurisch, Matthias: Managing Ontology Mapping Change based on Changing Inference Sets. In: Knowledge Engineering and Knowledge Management - EKAW 2016 Satellite Events, EKM and Drift-a-LOD. Bologna, Italy, November 19-23, 2016. Revised Selected Papers. Springer, pp. 255–262, November 2016.

[Pr09] Prothmann, Holger; Branke, Jürgen; Schmeck, Hartmut; Tomforde, Sven; Rochner, Fabian; Hahner, J.; Muller-Schloer, C.: Organic Traffic Light Control for Urban Road Networks. International Journal of Autonomous and Adaptive Communications Systems, 2(3):203–225, 2009.

[Se03] Selic, Bran: The pragmatics of model-driven development. IEEE software, 20(5):19–25, 2003.

[STR16] Stein, Anthony; Tomforde, Sven; Rauh, Dominik: Dealing with Unforeseen Situations in the Context of Self-Adaptive Urban Traffic Control: How to Bridge the Gap. In: IEEE International Conference on Autonomic Computing. 2016.

[To16] Tomforde, S.; Rudolph, S.; Bellman, K.; Würtz, R.: An Organic Computing Perspective on Self-Improving System Interweaving at Runtime. In: 2016 IEEE International Conference on Autonomic Computing (ICAC). pp. 276–284, July 2016.

[VMP03] Velegrakis, Yannis; Miller, Renée J.; Popa, Lucian: Mapping Adaptation under Evolving Schemas. VLDB '03 Proceedings of the 29th international conference on very large data bases, pp. 584–595, 2003.

[YP05] Yu, Cong; Popa, Lucian: Semantic Adaptation of Schema Mappings when Schemas Evolve. Proceedings of the 31st international conference on Very large data bases, pp. 1006 – 1017, 2005.

2nd GI/ACM Industry4.0 Security Standardisation Workshop on Industrial Automation and Control Systems (IACS)

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 957

INFORMATIK 2017 WS#13: 2nd GI/ACM Industry4.0 Security Standardisation Workshop on Industrial Automation and Control Systems (IACS)

Jan deMeer[1], Karl Waedt[2] und Axel Rennoch[3]

Abstract: Der 2te internationale GI/ACM I4.0 Security Standardisation (ISS) Workshop auf der GI Jahrestagung 2017, fasst Sicherheits- gepaart mit Zuverlässigkeitsaspekten von Produktionsanlagen, z.B. in einer Smart Factory, die den Anforderungen der Multi-Teile-Norm IEC 62443[IEC14] für Industrielle Automatisierungs- und Kontrollsysteme (IACS) entspricht, genauer ins Auge. Industrieanlagen haben eine eigene inhärente Struktur, die in dem Referenz-Architekturmodell RAMI4.0 [ZVEI15], erstellt von einem Verbandskonsortium, geführt von ZVEI, skizziert ist. Diese Struktur fällt ins Gewicht, wenn ein Security-by-Design- Ansatz für verbundene, verteilte Industrieanlagen gewählt wird. Unter Sicherheit für IAC-Systemen werden hierbei im weitesten Sinne Systemeigenschaften und -fähigkeiten verstanden, die im sog. 'Pentagon of Trust' [JdM16] genannt werden, nämlich Vertrauen in vernetzte Produktionsanlagen und -geräten, Geheimhaltung von Fabrikationsdatensätzen, prüfbare Beachtung von Regulierungen und Gesetzen, Garantierung der Funktionalität von Produktionsanlagen und die einsichtige Anwendbarkeit von Anlagen und Geräten, was in ähnlicher Weise auch für vernetzte Geräte im sog. Internetz der Dinge (IoT - Internet of Things) gilt. Der 2te GI/ACM I4.0 WS strukturiert sich in die Handlungsgebiete: Architektur und Frameworks, Industrielle Erfahrung - Best Practice, Formalisierung und IACS Semantiken.

Keywords: Industrie4.0, IEC62443, Smart Factory, Cyber Security, Trustworthiness, Automation & Kontrolle, Real Time, Semantics, Graphen- Manipulations- Werkzeuge, RAMI4.0, FDT, IACS, IoT. Sicherheits- Indikatoren, ISO/IEC, ETSI Standards

1 Workshop Fundamente in der Normung

Der zweite GI/ACM Workshop für Sicherheits- Standards für Industrieanlagen (IAC-Systeme), wird besonders von den Arbeitsprogrammen der technischen Normungs-Komitees, international von der ISO/IEC, europäisch von der ETSI und national von den Normungsgremien der ISO/IEC JTC1 Mitgliedsländer, wie z.B. der DIN in Deutschland, geprägt.

Das Technische Komitee IEC TC65 'Industrial Process Measurement, Control and Automation' (IACS), beschreibt in seiner Anleitung zur 'Good Working Practice' [IEC07], wie man verantwortungsvoll Standards erzeugen kann und welche Rollen

[1] smartspacelab.eu GmbH, Berner Str.21B, 12205 Berlin, demeer@smartspacelab.de
[2] AREVA GmbH, Henri-Dunant-Str.60, 91058 Erlangen, karl.waedt@areva.com
3 FhG-FOKUS, Kaiserin-Augusta-Allee 31, 10589 Berlin, axel.rennoch@fokus.fraunhofer.de

doi:10.18420/in2017_98

vonnöten sind. Die Struktur des IEC TC65 spiegelt in ihren heutigen 4 Subkomitees und 8 Arbeitsgruppen, 3 vereinigten Arbeitsgruppen, 1 Advisory Gruppe und 2 ad-hoc Gruppen, die definitorische Problematik, IACS Standards zu schreiben, wieder. Es seien hier besonders die übergeordneten Themen der TC65 Unterkomitees: Industrielle Systeme (SC65A), Geräte der Mess- und Regelungstechnik (SC65B), Industrielle Netzwerke (SC65C) und Integration von Geräten in Unternehmens- (Management-) Systemen (SC65E), genannt. Aber auch in den vereinigten Arbeitsgruppen werden Anforderungs-Standards für Safety von IAC-Systemen, Energie-Effizienz in der industriellen Automatisierung (EEIA) und ein Referenzmodell für Smart Manufacturing, als auch ein Rahmenwerk für Systemarchitekturen für Smart Manufacturing, bearbeitet.

Das Normungskomitee ISO/IEC JTC1 SC27[ISO90] deckt den gesamten Bereich des Schutzes der Informations- (Privacy) und Kommunikations- (Security) Technologien (ICT) im allgemeinen, aber auch im besonderen für verbundene IAC-Systeme, ab. Der Normungsbereich des Subkomitees SC27 umfasst Methoden zum Erfassen von Sicherheitsanforderungen, ein Sicherheits- und Informations- Management für die ICT, kryptographische Mechanismen, um Eigenschaften der Informations- und Kommunikationstechnologien (ICT), wie Verantwortlichkeit, bzw. Nachvollziehbarkeit (accountability), Verfügbarkeit (availability), Integrität (integrity) und Geheimhaltung (confidentiality) verfügbar zu haben; ein Sicherheits- Management mit Registraturen für sicherheitsrelevante Systemkomponenten; ein Identity Management, Biometrische Verfahren und Informationsverarbeitung mit Privacy- Eigenschaften; Anforderungen an Konformanz- Verfahren zum Prüfen und Auditieren; Kriterien zur Evaluierung der Sicherheit in IAC Systemen.

2 Workshop Struktur

Der Workshop I4.0 Industrielle Sicherheitsnormung gliedert sich in folgende 3 Anwendungsbereiche:

1. **I4.0 Framework**, spricht die Folgen der Digitalisierung an, hervorgerufen durch die sog. 4. Industrielle Revolution, in den Beiträgen:
    a. Integriertes Sicherheits- Framework - Ein holistischer Ansatz für IACS Sicherheits- Features;
    b. IAC-Systemkomplexität im interdisziplinären Diskurs;
2. **I4.0 Practice**, wie sie von globalen industriellen stakeholder oder von national operierenden SMEs erfahren und ausgeübt wird, wird behandelt in den Beiträgen:
    a. Herausforderung Interoperabilität und Sicherheit, ein Gegensatz?
    b. Anwendung forensischer Methoden, wie RHEL, in Kritischen

Infrastrukturen;

3. I4.0 Semantik wird zur Verminderung von Mehrdeutigkeiten, wie sie in regulierten (EU Regularien, IT Gesetze, DIN Normen etc.) aber auch in geregelten (IACS) Systemen immer wieder zum Vorschein kommen, gebraucht. I4.0 semantische Fragestellungen werden in den Beiträgen:

    a. über Sicherheit, Vollständigkeit, Indikatoren, Metriken - Ansatz einer einheitlichen SIEM Spezifikationssprache;

    b. Formalisierung der Darstellung von Sicherheitseigenschaften.

    behandelt.

Die vorgestellten drei I4.0-Anwendungsbereiche werden in 2 Sitzungen vorgestellt und diskutiert.

Literaturverzeichnis

[ISO90] Normungskomitee ISO/IEC JTC 1 /SC 27 IT Security Techniques https://en.wikipedia.org/wiki/ISO/IEC_JTC_1/SC_27#Scope, Gründung 1990.

[IEC07] Normungskomitee IEC TC65 Industrial-process measurement, control and automation, http://www.iec.ch/dyn/www/f?p=103:29:12055640240368::::FSP_ORG_ID,FSP_LANG_ID:1250,25#3, 2007.

[IEC14] Normungsdokument IEC 62443-4-2 ed1: Industrial Communication Networks - Security for Industrial Automation and Control Systems - part 4-2 Technical Security Requirements for IACS Components, 2014 .

[ZVEI15] Empfehlung ZVEI, VDI/VDE-GMA, DKE: Referenz-Architektur-Modell Industrie4.0 RAMI4.0: https://www.zvei.org/themen/industrie-40/das-referenzarchitekturmodell-rami-40-und-die-industrie-40-komponente/, 2015.

[JdM16] Jan de Meer, smartspacelab.eu GmbH Berlin: 'The Pentogon of Trust' - Präsentation The BeST Model of Trustworthiness for Cyber Citizens, 2016

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 961

Integrated Security Framework: Towards a Holistic Approach for Analysis, Simulation and Management of System Security Features

Yuan Gao[1], Robert Fischer[1], Simon Seibt[2], Mithil Parekh[1] and Jianghai Li[3]

Abstract: The increasing cyber threats require quick action from security experts to protect their industrial automation control system (IACS). For fulfilling the requirement, we propose to divided the classic cyber security analysis scope into three separated, yet interconnected domains: Threat, System and Security. Thus different groups of security professionals can work independently, and are not required to have the knowledge about the full scope. In addition, we proposed an asset-centric system architecture model to enable the modeling and simulation of attacks according to publicly known threats and vulnerabilities. Analysis based on the generated attack/defense trees can assist to manage and continuously monitor the deployed security controls. The proposed approach with tool supports reduces the workload of security experts as well as the incidents response team (IRT) towards an adaptive defense manner.

Keywords: threat model, asset management, attack/defense tree, adaptive defense

1 Introduction

The chaos raised by the ransomware attack WannaCry [Ma17] confirmed once again to the public that our cyberspace of both personal and industrial systems, are relatively vulnerable to the day-to-day increased cyber threats. One major reason for the obfuscation of the border between general IT security and industrial security is the introduction of commercial-off-the-shelf (COTS) hardware and software. Involving COTS in an industrial automation control system (IACS) can help to save the budget while reduce the time-to-market. However, meanwhile, COTS lack strict and extensive security evaluation procedures and therefore, are considered of making IACS more vulnerable. Furthermore, the intentions and actions targeting at critical IACS (e.g. power plants and energy grids) are increasing [Co16][PSF17]. For assuring that IACS can survive among the increased threats, beyond defense-in-depth [Wa16], security information and event management (SIEM) systems are required for the continuously monitoring purpose [GX16]. In addition, based on the system monitoring, adaptive defense [De14] using temporary controls can help to block ongoing attacks thus to buy time for the incidents response team (IRT) to

[1] Otto-von-Guericke University Magdeburg, Research Group Multimedia and Security, Universitätsplatz 2, 39106 Magdeburg, yuan.gao@ovgu.de
[2] Nuremberg Institute of Technology, Department of Computer Science, Keßlerplatz 12, 90489 Nuremberg, seibtsi47063@th-nuernberg.de
[3] Tsinghua University, Institute of Nuclear and New Energy Technology, Beijing, China, lijianghai@mail.tsinghua.edu.cn

doi:10.18420/in2017_99

take appropriate countermeasures.

However, compared to the increased threats, nowadays security teams for IACS lack the capabilities for performing quick, dynamic, situational reactions. First of all, traditional security analysis and mitigation processes are costly while hardly to reuse, because they use top-down approaches while top levels have little knowledge about the security relevant details. Secondly, industrial security professionals cannot benefit from the IT security development. On one side, the threats against general IT systems are classified and analyzed with the assumption to deploy controls on similar and scalable systems. On the other side, industrial systems are designed to be heterogeneous for achieving different functionality. Thus security professionals need to know the full analysis scope from threats to the target system architecture, which means a huge workload. At the same time, the industrial field lack of reusable, generalized, and easily extendable/adaptable tool supports.

For bridging general IT-security threats to a target IACS while managing correspondent controls adaptively, this work contributes the following points:

- Dividing the full analysis scope into three separate domains: Threat, System and Security. The three domains are interconnected to each other to achieve the security requirements of IACS.
- Proposing the system architecture model in an asset-centric manner to address the correct level of relevant security details.
- Distinguishing external/internal security forces work for an IACS. Thus different groups of security professionals might work independently in different domains.
- Combining the threat model and the system architecture model using attack/defense trees. A prototype is designed and it is expected to support IRT to manage continuous monitoring while to achieve adaptive defenses.

2 Related Work

Security analysis processes and associated risk managements are addressed in different international standards, like ISO/IEC 27005 [II11] and IEC 62443 [IE15]. The latter industrial standard series proposed a zone-conduit model for guiding the segmentation of security zones while monitoring their communications through conduits. The UK's national standard proposed the Domain Based Security (DBSy) Model to assist the analysis [HM09]. However, the DBSy Model is a conceptual model represents the security consideration in a draft way [GP16]. In general, all these three standards analyze the target system from top levels without touching the correct level of security relevant details of IACS. Furthermore, without a proper system architecture model, the created triads of "threat-attack-vulnerability" are text-based and duplications may exist. For analyzing the security posture of a small scale system, like an android kernel [LH15], it is obvious that

the authors can be ¨full-stack" engineers who know everything about the system thus no explicit system architecture modeling is required. Compared to this, Mao et al. employed a mathematical model of power systems to analyze whether their operations are secure [MI14]. However, the method they named as "trend security analysis" used to indicate abnormal system behaviors which have no clue to triggering reasons or possible attackers. A multi-layered security analysis framework was proposed in [Ha15]. This work proposed a reference model for representing a cyber-physical system (CPS) while considering attack based on that model. However, the proposed framework does not involve the asset management that can help to track product-specific vulnerabilities. A more comprehensive framework that considers common threats/vulnerabilities as well as the system architecture at the same time is expected.

Fischer et al. proposed different groups of entities for modeling attacks against IACS [Fi16]. Their work provides a solid foundation for the system architecture model discussed in this paper. Meanwhile, digital libraries for common threats and vulnerabilities, like common attack pattern enumeration and classification (CAPEC) [Ba08] as well as common vulnerabilities and exposures (CVE) [MG02] are available as the sources. The attack/defense tree described by Kordy et al. in [Ko13] is a suitable data structure for threat modeling. In addition, the Automation Markup Language (AutomationML) [IE14b] provides the foundation for building the system architecture model of IACS. With proper extensions, it can be used for creating the threat model as well as modeling security controls. AutomationML was originally designed to provide a neutral data format for data exchange within an industrial working environment. Thus it was designed to incorporate with additional industrial data formats: such as COLLADA for 3D data [IP12] and PLCopen for program logic [IE14a]. Based on these state-of-the-art technologies, this paper intended to propose a holistic security management approach for IACS with the identified proper level of security details.

3 Proposed Approach

In the proposed approach, as shown in Figure 1, we divide the full security analysis scope into three domains: Threat Domain, System Domain and the Security Domain. Each domain has its specific tasks and a separate group of security professionals work on it. Threat Domain is created from security threats/vulnerabilities known to public and keeps tracking new appeared security accidents all over the world. Vice versa, the system domain consists of the system architecture model of the target IACS and its most important functions as the protection goals. After that, a group of security experts work intensively on Security Domain to bridge the previously created two domains to meet business, regulatory as well as standardization requirements by defining the threat model, performing risk analysis, managing security controls and continuously monitoring the target system. Data exchanges between the three domains can be categorized into two workflows: The setup workflow creates the security domain from the beginning. In other words, when an organization first time decides to perform a security analysis on the target

system, the setup workflow serves for that purpose to create all relevant entities within the three domains. The second workflow, or we call it the run-time workflow, aims to support IRT to manage the security domain by continuously monitoring deployed controls and warning for appeared new threats.

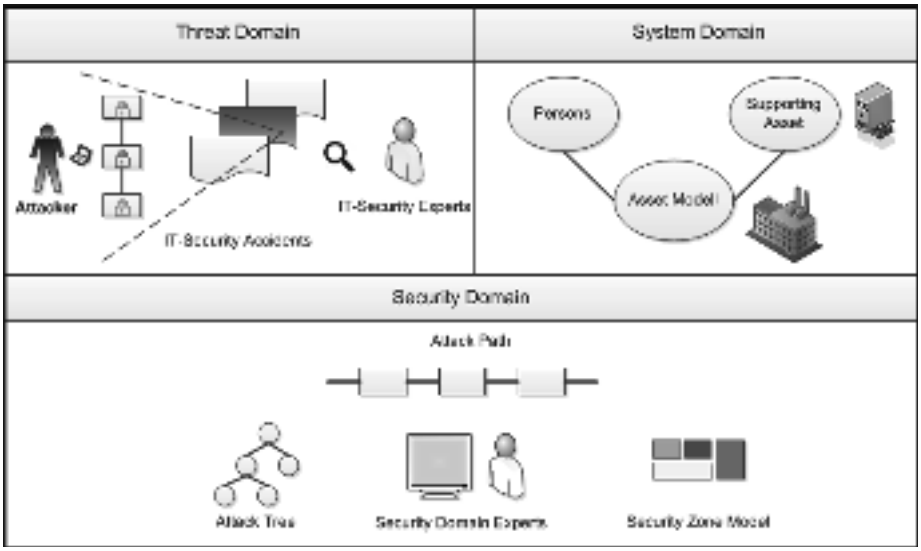


Fig. 1: The three domains of the security analysis scope.

The division of domains helps to refine a security analysis activity into different modules with specific focuses. This enables different groups of security professionals working independently. Thus an individual security professional does not need to know everything about the target IACS while workflows might be optimized. During the setup workflow, Threat Domain in general and System Domain for a specific IACS can be built up in parallel. Particularly, System Domain enables the navigation from the security concerns on top-levels down to low-levels of tangible assets and their run-time environment. The navigation bridges deployed security controls and the affected assets to support a continuous monitoring and even an adaptive defense on the target IACS.

3.1 Threat Domain

This domain takes publicly known security accidents and attacks as references for creating the security architecture to protect the target IACS. Obviously the amount of considered historical attacks can reach a huge number. Fortunately, nowadays they are categorized and maintained by security experts and published as digital libraries. Within the work of this paper, we selected CAPEC, as mentioned in Section 2, as the source of commonly used attack methods. In additional, CVE tracks security vulnerabilities of products, which can be exploited by attacker, from different vendors [MG02]. Aiming to identify security

threats while to address proper controls effectively, we also took Threat Assessment & Remediation Analysis (TARA) [Wy12] into account.

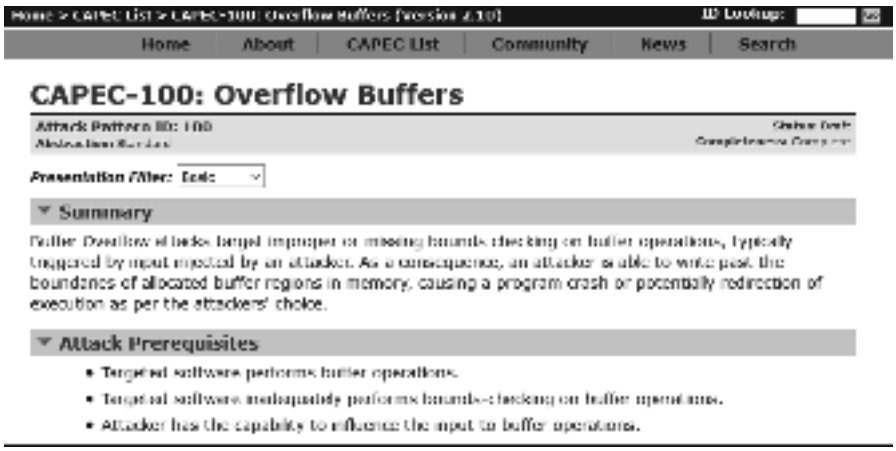


Fig. 2: CAPEC-100: Overflow Buffers.

Figure 2 shows the basic view of a well-known attack pattern with the id CAPEC-100: *Overflow Buffers* from CAPEC. An attacker can exploit a vulnerable function call by crafting the malicious input to crash the software or to execute unauthorized program. CAPEC describes this kind of attack and its prerequisites in plain text. Before adding CAPEC-100 into the threat domain, it will be modeled with additional properties to ease the later using in Security Domain. Formula (1) shows the 3-tuple for modeling a threat. *AffectedAssets* is the list of possible affected asset types so that later relevant threats can be filtered according to the assets contained by the target IACS. An asset type is an abstract type without vendor specified details (e.g. a workstation). *Rules* are required when a single attack performs on multiple assets at the same time.

$$Threat := <ID, AffectedAssets, Rules> \quad (1)$$

The tuple for the example in Figure 2 is <CAPEC-100, ANY, NULL> where the universe symbol ANY means all assets (with software components) might be attacked using this pattern. NULL means it works directly on the affected asset. An additional example is CAPEC-285: *ICMP Echo Request Ping* which exploits the ping response to discover hosts within the network. Here *AffectedAssets* contains but not limited to PCs/Servers, PLC Communication Modules, routers or any network enabled device with an IP address. Compared to this, CVE tracks vulnerabilities in a product-base way, like CVE-2016-9159 for SIMATIC S7-300/400 PN CPUs, which are widely used PLCs. Thus a CVE vulnerability has affected single type of asset inherently. Threats described in TARA reference attacks in CAPEC, so we can easily model them according to relevant CAPEC items with a proper defined attribute *Rules*.

In summary, security professionals in Threat Domain model threats/vulnerabilities from public digital libraries and keep tracking updates from them. The 3-tuple representations will ease the searching and filtering of threats that later happen in Security Domain, corresponding to the asset-centric system architecture model (System Domain). The typical assets like server, gateway etc. introduced by Fischer et al. [Fi16] contribute to the general asset types. It is clear that additional sources, like U.S. National Vulnerability Database as well as ETSI Information Security Indicators [RG15], can be involved into the threat domain. Even individual claims or cyber security news can be taken into account too. For example, the increasing news about a current spreading ransomware can warn IRT to check whether their IACS is under the threat and to take immediate reactions when applicable. In particular, Threat Domains tracks the threats and vulnerabilities in general. Thus it does not rely on a specific target IACS. Once Threat Domain was created, it can be used for analyzing any target IACS. In addition, Threat Domain must not cover every single threats or vulnerability from those sources. We started our work from a very small filtered group. However, it should be complemented and kept updated in the future. Furthermore, against a specific target IACS, the coverage of considered issues in Threat Domain can be used as a measurement for its security posture.

3.2 System Domain

Compared to the tracked threats in general, the system domain consists of the system architecture model of an target IACS. The security analysis on an IACS is normally performed in a top-down approach, as stated in our previous work [Wa16] as well as in the industrial standard [IE15]. In the top-down approach, a complex system and its protection goals are divided into groups (e.g. hardware, software etc.) and sub-systems thus they can be easily conquered. However, the top levels lack of knowledge about those affected tangible assets (e.g. a workstation within the system). Top-down approaches are suitable for understanding the overall risks in a systematic way while it is difficult relying on them to deploy and to manage security controls. Thus alternatively, System Domain creates the system architecture model in a bottom-up manner. The process starts from modeling the centric assets which are relevant for major functionality of the target IACS, which means they are also important for security analysis. For example, a centric asset can be a sensor, an actuator or a computer with software to control the sensor/actuator. Network devices, which might be compromised to affect the major functionality, belong to centric assets too. Particularly, these assets will be assigned an unique id for later referencing in the security domain. Furthermore, the model was extended by attaching different perspectives to address required security details. The concept perspective is a reorganization of the groups of basic elements proposed by Fischer et al. [Fi16] in an asset-centric manner. These perspectives contain but are not limited to:

- **Functional Perspective** describes the specific functionality of the IACS.
- **Network Perspective** describes the network connections.

- **Data Perspective** takes the dataflow and configurations within the system into account.
- **Person Perspective** cares about individuals who (potentially) have access to one or multiple assets.
- **Resource Perspective** represents the capacity of one asset or a predefined constraint. Exceeding the capacity/constraint might affect the relevant functionality.

Within this paper, we mainly consider the functional perspective and the network perspective. The former perspective describes the important functionality of the target IACS. An important functionality can be one of the safety-critical functions or those are important for the business purpose, e.g. transferring electricity generated by a power plant into the energy grid. Failing the functionality will bring financial lost and possible safety impacts (e.g. turbine cooling) to the power plant. The items in the functional perspective are listed according to their priorities that are decided by the domain experts of the organization. Formula (2) shows the 4-tuple of a function. *AssetList* contains all involved assets. Not like the abstract asset type in the universe ANY used in Threat Domain, here an asset is a tangible one that belongs to one abstract asset type. *AssetProperty* describes associated asset details (e.g. vendor, series, configurations etc.) and further security relevant details of the function, e.g. the communication between involved assets (network perspective). In particular, network devices are part of centric assets instead of part of the network perspective so that we can model all compromising happen on centric assets rather than within any perspective. Persons can be treated also as assets. Alternatively, they are modeled separately as the person aspect, since one person might have multiple roles, e.g. as an employee and an attacker at the same time. The bottom-up process enables the asset-centric model to be independent from Threat Domain and Security Domain, since the asset model only relies on the target IACS.

$$Functionality := \langle ID, Description, AssetList, AssetProperty \rangle \tag{2}$$

$$\forall a \in AssetList \Rightarrow \exists t \in ANY: a \rightarrow t$$

3.3 Security Domain

This is the core domain where security experts create the “threat-attack-vulnerability” triads iteratively. On one side, publicly known threats/vulnerabilities are ready for referencing. On the other side, important functionality (protection goals) identified in System Domain are listed in the functional perspective. Then security experts work on the protection goals in the order of their priorities. For each protection goal, identified threats/vulnerabilities will be filtered according to relevant IACS assets. Then based on the filtered results, the security experts work out attack paths against a protection goal. As Formula (3), an attack path targets specific *Asset* and contains an ordered list of 2-tuple of connected assets as well as deployed attack methods from Threat Domain. The affected

Function can be omitted to be compatible with a low critical threat or an advanced persistent threat (APT). One attacker can start from one asset and go via assets according to the ordered list to reach the target *Asset* where he can interfere the affected protection goal. Compared to the kill-chain concept, attack paths focus on the reachability from the attacker to the target asset represented by the system architecture model.

$$AttackPath := < Asset, Function, \{<Asset, Threat>\}> \quad (3)$$

Each attack path can be used for describing one row in the risk assessment table so that based on it, security experts can estimate the impact and the likelihood of the risk [GP16]. How to determine the priority of a risk is out of the scope of this paper. However, attack paths need to be improved for supporting the risk assessment. On one side, two attack paths share the same ordered list of assets can be different when they employ different attack methods. On the other side, different attack paths can have the same sub-path. Both cases will cause the risk table increasing exponentially and make the following analysis and mitigation phase difficult. Thus reusing the same sub-path as well as related attack methods are meaningful. As a more compact data structure, we introduced attack/defense trees into Security Domain. Since assets are involved in attack paths can be identified by their unique Ids, attack trees can be created by union the same part of attack paths. Security experts can implement and deploy security controls to mitigate existing risks. Each security control can also be mapped to a correspondent attack tree thus the tree is adapted as an attack/defense tree. Meanwhile, the tree-like data structure enables the quantified analysis for identifying the security bottle-neck of the system where a security control can gain the maximum effect. An example of the attack/defense tree is illustrated with a running example in Section 4.

3.4 Security Professionals and Data Exchange

Security professionals and experts working within the three domains can be divided into 4 groups: The first group contains the security experts who work for maintaining those digital libraries. They work completely outside the organization (IACS) and have no knowledge about a specific IACS. The second group are domain experts work in the system domain. They belong to the organization and understand the business and functional goals of their IACS very well. They mainly work on maintaining the system architecture model and must not be professional on security topics. They also need to have meeting with the third group of security experts to determine whether attack paths are reasonable for their IACS. As stated before, the third group of security experts work in the security domain to bridge known threats to the target IACS and design proper security controls. They can be employees of the organization or external consultants. They are all professional and proficient in up-to-date security topics. If they are not employees of the organization, their knowledge about the target IACS should be constrained. Actually, by constraining information exchange between domains, security features and system details are separated so that with appropriate access controls, the risk of data leakage will be reduced. The last group of security staff work in Security Domain for the organization as

IRT members. They are not as proficient as the third group of experts in security topics. However, they will be involved in the design of security controls since later they will take the responsibility to continuously monitoring the deployed controls with the help from SIEM systems and take quick reactions to appeared threats or ongoing attacks, before senior security experts (internal and external) are in place.

The dataflow between Threat domain and Security domain is unidirectional from digital libraries to the security domain within the organization. The data exchange between Security Domain and System Domain are bidirectional. On one side, identified attack paths and implemented security controls need to be tested within System Domain. On the other side, the real-time status of security controls need to be transferred to the Security Domain so that IRT can monitor them and take reactions when needed. There is no data exchange between the Threat Domain and System Domain.

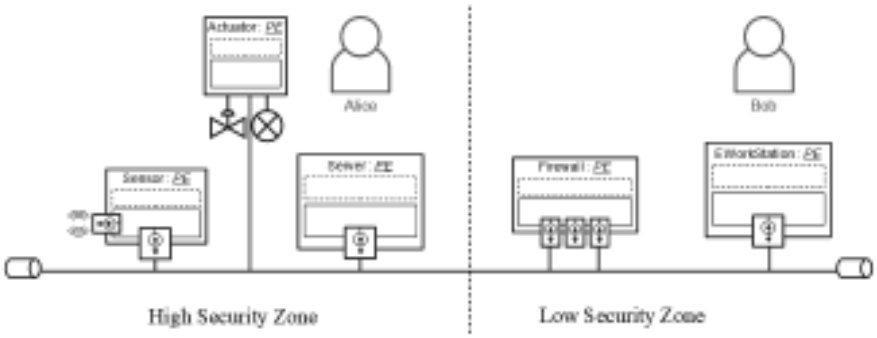


Fig. 3: A running example: pressure control system.

4 Exemplary Application

Figure 3 shows a running example following the modelling elements proposed in [Fi16] where "PE" indicates physical entities. One of the protection goal for the target IACS is its safety system. The system consists of three major components: a sensor for detecting the pressure of a container, an actuator (valve) for controlling the valve connected to the container, a server (automation computer) for executing the safety function. When the pressure within the container is too high, the server will send command to the actuator to open the valve. Thus, the inner pressure of the container will be reduced. In the next we setup the three domains briefly.

Threat Domain: a small group of threats are considered as an example (see Table 1). Their *Rules* attribute are omitted since all of them are NULL that means attacks take effect directly on assets without conditions.

ID	*AffectedAssets*	Name and Description

CPAEC-49	PC, Server, Door Locks…	Password Brute Forcing
CAPEC-100	ANY	Overflow Buffers
CAPEC-285	Server, Switch, Router…	ICMP Echo Request Ping

Tab. 1: Considered attacks in Threat Domain.

System Domain: We take the safety-critical function (pressure control) as the protection goal. The *AssetList* contains the related assets: {Sensor, Actuator, Server}. The attribute *AssetProperty* is not implemented here, but still we can read all system details from Figure 3.

Security Domain: By checking the intersections between the column *AffectedAssets* in Table 1 and *AssetList* in the system architecture model, various threats can be addressed: Targeting the actuator, Alice might connect her notebook (not illustrated in the figure) to the server and employ CAPEC-100 to inject the malicious code to block the valve. Alternatively, Bob can exploit the CAPEC-285 to find the Server thus to bypass the firewall and plays CPAEC-49 on the server to close the valve. An attacker can even attack the valve directly if it is a software embedded smart actuator. The relevant attack/defense tree is illustrated in Figure 4.

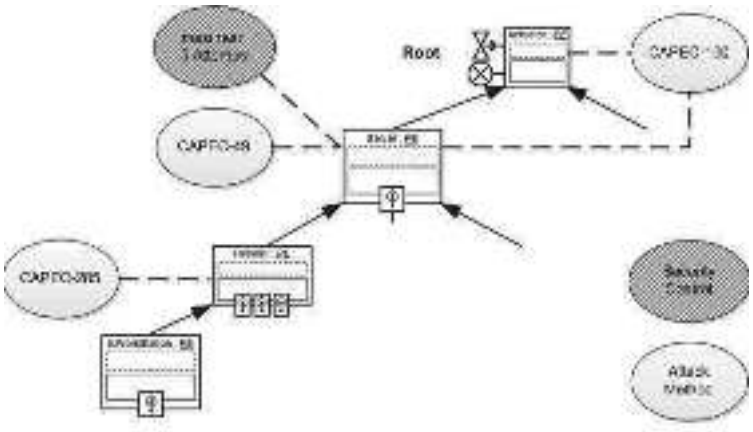


Fig. 4: An attack/defense tree example.

Knowing the two threats and the system model illustrated in Figure 4, IRT can deploy controls on the server and continuously monitor them for detecting ongoing attacks so that they can switch the valve into the manual mode to protect the system. In addition, when IRT is notified that there is a virus spreading outside the high security zone, they can take temporary control to block the ports used by the virus to protect the server. According to Figure 3, IRT can know from the system architecture model, the temporary control will not affect the safety function. So they will deploy the temporary control until senior security experts can provide a permanent solution, e.g. installing anti-virus software on the server.

5 Conclusion and Future Work

In this paper, we proposed a framework to separate the security workload for an IACS. The framework can benefit from publicly known threats and vulnerabilities while master the correct level of security details of the system architecture. Particularly, the data structure attack/defense trees are involved for easing the daily work of security professionals while providing the possibility for continuous monitoring and adaptive defense. The future work can focus on the improvement of the threat model used in the security domain. Currently the threat model focuses on functions availability and manipulations. One attack path starts from one asset and ends at the target asset. Conditional attacks or APT should be addressed in future work.

Note: Some of the above described modelling-analyses are being elaborated as part of AREVA's participation in the "SMARTEST" Cybersecurity Testing R&D with three German University partners, partially funded by German Ministry BMWi. In addition, the authors would like to thank for the project CRP J02008 funded by IAEA as well as the fertile discussion with Mr. Jackson Wynn from MITRE.

References

[Ba08] Barnum, S.: Common attack pattern enumeration and classification (capec) schema description, Cigital Inc, http://capec.mitre.org/documents/documentation/CAPEC/Schema_Description_v1, volume 4, 2008.

[Co16] Condliffe, J.: Ukraine's Power Grid Gets Hacked Again, a Worrying Sign for Infrastructure Attacks., https://www.technologyreview.com/s/603262/ukraines-power-gridgets-hacked-again-a-worrying-sign-for-infrastructure-attacks, accessed: 30/06/2017.

[De14] Deloach, S. A.; Ou, X.; Zhuang, R.; Zhang, S.: Model-driven, moving-target defense for enterprise network security, Models@run.time, pp 137-161, 2014.

[Fi16] Fischer, R.; Clausing, R.; Dittmann, J.; Ding, Y.: Industrie 4.0 Schwachstellen: Basisangriffe und Szenarien, Proceedings of DACH Security, 2016.

[GP16] Gao, Y.; Parekh, M.: Cybersecurity Risk Assessment using DBSy Models and Attack Trees, 47th Annual Meeting on Nuclear Technology: Workshop Preserving Competence in Nuclear Technology, 2016.

[GX16] Gao, Y.; Xie, X.: SIEM Framework for Policy-based Monitoring of SCADA Systems, Lecture Notes in Informatics (LNI), INFORMATIK 2016: Workshop New Security Standards for Industrial Automation and Control Systems (IACS/SCADA), 2016.

[Ha15] Hahn, A.; Thomas, R. K.; Lozano, I; Cardenasm A.: A multi-layered and kill-chain based security analysis framework for cyber-physical systems, International Journal of Critical Infrastructure Protection, volume 11, pp 39 – 50, 2015.

[Hm09] HMG: Information Assurance Standard No. 1, 2009.

[Ie14a] IEC: 62714-1: Engineering data exchange format for use in industrial automation systems engineering, Automation markup language, Part 1: Architecture and general requirements, 2014.

[Ie14b] IEC: 61131-10 (Draft): PLCopen XML Exchange Format, 2014.

[Ie15] IEC: Security for Industrial automation and control systems – Part 3-2: Security risk assessment and system design, 2015.

[II11] ISO, IEC: 27005 Information technology – Security techniques – Information security risk management, 2011.

[IP12] ISO, IEC: 17506: Industrial automation systems and integration, COLLADA digital asset schema specification for 3D visualization of industrial data, 2012.

[Ko13] Kordy, B.; Kordy, P.; Mauw, S.; Schweitzerm P.: ADTool: security analysis with attack/defense trees, International Conference on Quantitative Evaluation of Systems, pp 173 – 176, 2013.

[LH15] Liu, T.; Huuck, R.: Case study: Static Security Analysis of the Android Goldfish Kernel, International Symposium on Formal Methods, pp 589 – 592, 2015.

[Ma17] Lee Mathews: How WannaCry Went From A Windows Bug To An International Incident, https://www.forbes.com/sites/leemathews/2017/05/16/wannacry-ransomware-ms17-010/#27267a252609, accessed: 30/06/2017.

[MG02] Mell, P.; Grance, T.: Use of the common vulnerabilities and exposures (cve) vulnerability naming schema, national INST of standards and technology Gaithersburg MD Computer Security DIV, 2002.

[MI14] Mao, A.; Iravani, M R.: A trend-oriented power system security analysis method based on load profile, IEEE Transac. on Power Systems, volume 29, pp 1279 – 1286, 2014.

[PSF17] Perlroth, Nicole; Scott, Mark; Frenkel, Sheera: Cyberattack Hits Ukraine Then Spreads Internationally., https://www.nytimes.com/2017/06/27/technology/ransomware-hackers.html, accessed: 30/06/2017.

[RG15] Rennoch, A.; Gaudin, G.: ETSI ISG SI: Security Indicators Quick Reference Card (V 1.1.2), http://cloudsecurityalliance.it/wp-content/uploads/2015/01/isiQRC_V1_1_2_june2015.pdf, accessed: 05/07/2017.

[Wa16] Waedt, K.; Parekh, M.; Tong, X.; Gao, Y.; Ding, Y.; Xie, X.: Nuclear Safety and Risk-based Cybersecurity Testing, 47th Annual Meeting on Nuclear Technology, 2016.

[Wy12] Wynn, J.; Whitmore, J.; Upton, G.; Spriggs, L; McKinnon, D.; McInnes, R.; Graubart, R; Clausen, L.: Threat Assessment and Remediation Analysis Methodology Description, https://www.mitre.org/publications/technical-papers/threat-assessment--remediation-analysis-tara, accessed: 30/06/2017.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 973

Interoperability and Security Challenges of Industrie 4.0

Venesa Watson[1], Asmaa Tellabi[2], Jochen Sassmannshausen[3] and Xinxin Lou[4]

Abstract: Industrie 4.0 (I4.0) is the fourth industrial revolution, which will see the digital transformation of manufacturing, through the integration on Industrial Internet of Things (IIoT), Data and Services, and the convergence of Information Technology (IT) and Operational Technology (OT). With any such transformation, there exists challenges that must first be addressed for a successful outcome. For I4.0, these are interoperability and security, which respectively arise from the interconnection of devices from different manufacturers and/or with different communication protocols; and the interconnection of networks with competing critical and non-critical traffic, and the increased access to initially isolated networks. This paper presents an overview of standards, such as IEC 62443, the ISO 27000 series, IEC 62541 Open Connectivity Unified Architecture (OPC UA) and Time Sensitive Networks (TSN) (IEEE 1722-2016), which addresses these challenges.

Keywords: Industrie 4.0, IIoT, Interoperability, Security, IEC 62443, ISO 27000, OPC UA, TSN

1 Introduction

Industrie 4.0 (I4.0) is defined as the fourth industrial revolution, characterized by a technological evolution from embedded systems to information-driven cyber-physical systems. This requires the digital transformation of manufacturing, through innovation accelerators such as Industrial Internet of Things (IIoT), Services and Data; and the convergence of Information Technology (IT) and Operational Technology (OT), to realize smart decentralized manufacturing, self-optimizing systems, connected factories and a digital supply chain [II16] [IS16a] [Mc15]. The I4.0 infrastructure sees both the interconnection of devices that are from different manufacturers and/or have different protocols, and the interconnection of networks that have varying functional requirements. These interconnections enable increased access to systems that initially had restricted access, and increased instances of shared networks, where critical and non-critical data will compete for access. Standards from the IEC, IEEE, ISO and the Working Group for I4.0, seek to address these security and interoperability challenges. A selection of these standards are discussed concerning their suitability for I4.0.

[1]University of Siegen, Faculty of Science and Engineering, Chair for Data Communication Systems, Hölderlinstraße 3, Siegen, 57068, venesa.watson@uni-siegen.de
[2] University of Siegen, Faculty of Science and Engineering, Chair for Data Communication Systems, Hölderlinstraße 3, Siegen, 57068, asmaa.tellabi@uni-siegen.de
[3] University of Siegen, Faculty of Science and Engineering, Chair for Data Communication Systems, Hölderlinstraße 3, Siegen, 57068, jochen.sassmannshausen@uni-siegen.de
[4]Bielefeld University, Department of Computer Networks and Distributed Systems, Universitätsstraße 25, Bielefeld, 33615, xlou@techfak.uni-bielefeld.de

doi:10.18420/in2017_100

2 Security and Interoperability for Industrie 4.0

Communication standards, such as IEC 62541 (Open Connectivity Unified Architecture (OPC UA)) and IEC 61850 (Communication Networks and Systems in Substations), are used to facilitate interoperability. In fact, OPC UA is recommended for implementing the communication layer of the Reference Architectural Model for Industrie 4.0 (RAMI 4.0), which is the framework for I4.0 [Mc15] [OP16]. Concerning I4.0 security, standards must address securing data exchanges, and should consider the different requirements for IT and OT.

In addition to interoperability, IEC 62541 addresses the security of data exchanges [IE15b]. IEEE 1722-2016 similarly addresses interoperability and security. For instance, it uses the globally-accepted Ethernet standard, which is then extended to support simultaneous transmission of both critical and non-critical data, among other security mechanisms; and is currently undergoing testing to fulfil the interoperability requirement, as is observed with the emerging OPC UA over TSN protocol [AB16] [TE16] [TT15]. Also considered is IEC 62443 (Industrial Communication Networks – Networks and System Security), which is a multi-part standard that comprehensively addresses security in the process and automation industry. This high-level security standard is partially based on the established generic security standard, ISO/IEC 27000 series. IEC 62443 is internationally recognized, and is touted as the central standard for security in I4.0 [TU17]. However, ISO 27000 series is preferred for small to medium-scale operators.

Given the involvement in and advantages for I4.0, ISO 27000 series (specifically 27001, 27002 and 27019), IEC 62443, IEC 62541 and IEEE 1722-2016 have been selected for further discussion. An overview for each is provided in the following subsections.

2.1 ISO 27000 Series Information Technology — Security Techniques — Information Security Management Systems — Overview and Vocabulary

The ISO/IEC 27000 series assist organizations keep information assets secure. Bringing information security deliberately under overt management control is a central principle throughout the ISO/IEC 27000 standards. ISO/IEC 27001 is the best-known standard in the family providing requirements for an information security management system (ISMS). On the other hand, ISO/IEC 27002 provides best practice recommendations on information security management for use by those responsible for initiating, implementing or maintaining ISMS. TR 27019:2013 provides guiding principles based on ISO/IEC 27002 for information security management applied to process control systems as used in the energy utility industry. While the previous standards focused exclusively on information system in business the aim of ISO/IEC TR 27019:2013 is to extend the ISO/IEC 27000 set of standards to the domain of process control systems and automation technology.

2.2 IEC 62443 Industrial Communication Networks – Network and System Security

IEC 62443 is an important standard that covers security in industrial systems. It was developed by the ISA99 committee of the International Society of Automation and the working group 10 of the IEC Technical Committee 65. The standard consists of four main parts, which are further divided into several parts. Currently, some parts are still under development. The scope of IEC 62443 is very wide and covers aspects like policy management, security requirements and component requirements. The standard addresses both system suppliers as well as end users who operate an industrial automation system [IS16b]. Parts of IEC 62443 have a similar scope like the IEC 27000-series of security standards. For example, IEC 62443 also describes aspects like security program management or security risk analysis. Overall, IEC 62443 is not a technical standard like IEC 62541 or IEC 61850 that give detailed guidance of how systems and protocols have to be modelled. Instead, the standard gives a more comprehensive overview of security requirements, security risks that have to be countered, and how products have to be developed to meet certain security requirements. IEC 62443 also provides a model of an industry automation control system and further introduces different zones that cover different areas of the system with the same security requirements. Security analysis of a system can be done on a high level or zone-specific approach [IE15a]. In addition, IEC 62443 introduces security requirements and security levels that help to evaluate and to define certain security measures in a system [IE15c]. IEC 62443 is also applicable beyond Industry automation systems, as demonstrated by the European standardization organization CEN-CENELEC-ETSI in their identification of certain parts of IEC 62443 that can be used to increase security in power system automation [CC14].

2.3 IEC 62541 Open Connectivity Unified Architecture (OPC UA)

OPC UA is a multi-part standard that supports interoperability to allow different devices to communicate. OPC UA facilitates communication through sending messages between OPC UA Clients and Servers. A security model is defined in part 2 [IE15b] to provide security for this communication, whilst part 7 [IE15g] contains security profiles, to address security needs for configurations with lowest security needs to those with highest security needs. The security features provided includes controls to authenticate users and OPC UA clients and servers, preserve the integrity and confidentiality of communication between the clients and servers, and to verify device functionality [IE15b] [IE16a]. OPC UA offers flexibility to vendors to implement these controls as needed, seeking mainly to provide support for their implementation, such as key management services for cryptographic controls [IE16a]. OPC UA also offers flexibility in its applicability to different environments, as demonstrated in [OP16]. For instance, its

applicability to the nuclear context is demonstrated by AREVA. Realizing the potential of OPC-UA in sensors, AREVA started integrating these into monitoring instruments (SIPLUG®) for mountings and their associated electric drives (Fig 1.). This solution allows direct access to SIPLUG® data by AREVA reporting and trend monitoring system, an advantage for the nuclear industry. This use of OPC UA facilities the monitoring of critical systems in remote environments, without negatively affecting the availability of the system [OP16]. As OPC UA is an open standard, SIPLUG® is discoverable by other OPC UA-capable devices. In addition to integrated security, OPC UA also provides historian data collection, which is useful for data-driven analyses.

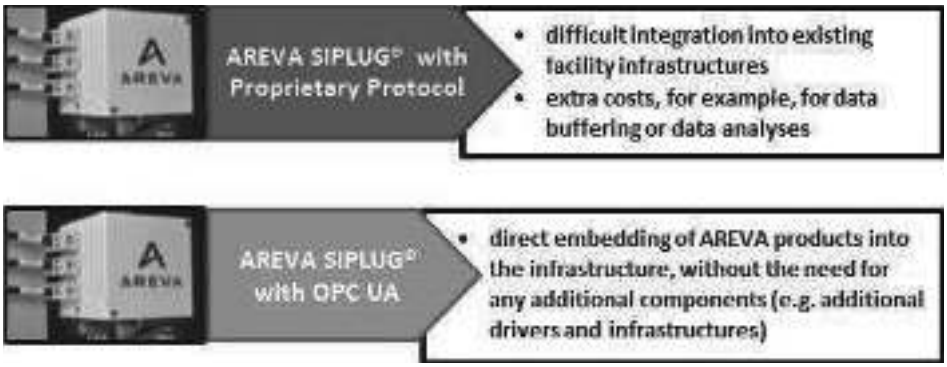


Fig. 1: AREVA SIPLUG® Interoperability with Proprietary Protocol versus with OPC UA.

2.4 IEEE 1722-2016 Transport Protocol for Time-Sensitive Applications in Bridged Local Area Networks

Defined by IEEE 1722-2016, TSN is a set of IEEE 802 Ethernet sub-standards that introduces real-time capabilities to the standard Ethernet [IE16b] [TT15]. In IEEE 1722-2016, consideration is given to the industrial context (industrial automation and control networks), where TSN is used to refer to industrial control and other application data streams that are not audio or video in nature [IE16b] [TT15]. TSN provides deterministic, real-time support for both industrial control and IIoT, with functionality that converges critical and non-critical traffic and multiple applications on one network, without the risk of collision to affect the delivery of the critical traffic; facilitates the integration of subsystems to the real-time control systems without network or equipment alterations; and provides more precise information on the source of network faults, to support faster diagnosis and repairs [TT15]. TSN provides competitive advantages for industrial networks, particularly in IIoT infrastructures, where time-critical communication and the protection against traffic congestion are essential requirements. TSN features can also be leveraged with standards for interoperability, such as OPC UA. In that, whilst OPC UA facilitates communication between the devices, TSN ensures a successful connection between these devices, and enables a real-time data communication. Efforts are still underway to improve TSN support of interoperability

for cross-platform communication. In fact, TTTech, with the Industrial Internet Consortium (IIC), recently recorded a successful interoperability of IEEE 802.1Qbu [TT17].

3 Interoperability with IEC 62541 and IEC 61850

3.1 Scope of Application

Both the IEC 62541 (OPC UA) [IE16a] and IEC 61850 (Communication Networks and Systems in Substations) [IE13] are standards with focus on communication and system modelling in automation scenarios. IEC 61850 is highly specialized to power system automation, whereas the OPC UA is an important standard in industry automation scenarios. The main differences between OPC UA and IEC 61850 will be described in the following sections.

3.2 Data Modelling

Both IEC 61850 and OPC UA use data models to represent physical processes and equipment, and applications can interact with the data model using specified services. The IEC 61850 data model is highly specialized to power system automation. IEC 61850-7-3 [IE10b] and IEC 61850-7-4 [IE10c] define data classes and logical nodes that represent certain functionalities, and can be understood as “building blocks” of which a system can be modelled. The original scope of IEC 61850 is automation of substations; therefore, the definition refers to equipment used in this scenario. Extensions like IEC 61850-7-410 [IE10c] and IEC 61850-7-420 [IE09] use the same data classes but define additional logical nodes that enable IEC 61850 to cover distributed energy resources and hydro-power-plants. In contrast, the OPC UA is used in industry automation with a high diversity of device types and highly specialized devices that have to be modelled. Therefore, the OPC UA data model is not as static as the IEC 61850 data model. IEC 62541-3 [IE15c] and IEC 62541-5 [IE15e] introduce the OPC UA approach of data modelling that allows the modelling of arbitrary complex systems. The user may define own objects types that can be instantiated (as nodes in the address space). Relationships between objects are described with references. For example, there is a reference type “HasComponent” that indicates that a certain node is also part of a node. Due to the generic approach, the IEC 61850 data model can be modelled with OPC UA [Ls11]. The opposite case is not possible.

3.3 Services

Both OPC UA and IEC 61850 provide services that allow clients to obtain information about the data model managed by the server, to read and write values and add/delete data

elements. Both standards support publisher-subscriber communication scenarios. The services are described in IEC 62541-4 [IE15d] and IEC 61850-7-2 [IE10a]. The services definitions are not protocol-specific, IEC 61850 calls the service definition the “Abstract Communication Service interface”. The service definitions are aligned with the data models and security concepts.

3.4 Communication Protocols

Both OPC UA and IEC 61850 realize the communication services with certain protocols. OPC UA provides a binary protocol and a XML-based protocol, which are both based on TCP/IP. IEC 62541-6 defines a “mapping” of data elements to these formats [IE15f]. IEC 61850-8-1 defines a mapping to the MMS protocol [IE11], which is currently the only supported protocol for client-server-communication. The planned extension, IEC 61850-8-2, will also introduce the XML based communication XMPP to realize the services defined in IEC 61850-7-2 [IE10a]. In contrast to OPC UA, IEC 61850-8-1 also provides real-time protocols designed for fast transmission of sensor data or event information. These protocols are used in process bus communication and are able to meet narrow time constraints (Round-trip-times of below 4ms). The protocol stack is also very lightweight - the application layer is based directly on the MAC layer. TCP/IP based protocols are not suitable for this purpose.

3.5 Security

The security concepts for IEC 61850 and OPC UA are similar and mainly focus on communication security. However, the OPC UA security approach is more “Bottom up” and included in the standard IEC 62541 as separate part (IEC 62541-2) [IE15b]. The service definitions of the OPC UA also provide services to build up a secure communication channel/session between client and server. The service definitions also include security relevant elements, i.e. an “authenticationToken”, which shall provide authentication of origin of requests. IEC 61850 service definitions do not cover security aspects explicitly as IEC 62541 does. The security measures for IEC 61850 are introduced separately by IEC 62351 and refer to the protocols that are used by IEC 61850. The IEC 61850-7-2 ACSI itself does not define services with security features. In general, security measures are protocol-specific. Both OPC UA and IEC 61850 introduce security on different levels, e.g. TLS on transport layer and mutual authentication on application layer (IEC 61850-8-1 with IEC 62351-3 and IEC 62351-4) or in case of OPC UA the establishment of a secure channel with a session on top of the secure channel. In contrast to IEC 61850 and IEC 62351, the OPC UA protocols for the Secure Channel and the Session are located on application level, the transport protocols can be OPC UA TCP or SOAP/HTTP (IEC 62541-6). Given this structure, the OPC UA communication security can be seen as more end-to-end than the IEC 61850-8-1 communication security realized with TLS and ACSE. However, end-to-end security can be possible with IEC 61850-8-2 and XMPP using techniques such as XML encryption

and XML signatures. In contrast to IEC 61850, the standard IEC 62541 provides detailed auditing mechanisms. Access Control is not covered by IEC 62541-2, whereas IEC 62351-8 introduces access control mechanisms for IEC 61850. However, both OPC UA and IEC 61850 mention the possibility to restrict access to data elements by making them only visible to certain clients.

4 Specific Security Considerations with OPC UA and TSN

The following subsections take a closer look at the security provisions and challenges of both OPC UA and TSN. Also discussed is an emerging protocol, OPC UA over TSN.

4.1 Security Considerations with OPC UA

OPC UA is made up of 13 parts, the first seven parts are related to the core specifications e.g. the concept, security model, address space model, services, information model, service mappings and profiles. The parts eight to thirteen are related to access type specifications like data access, alarms and conditions, programs, historical access, discovery and aggregates.

The security model of OPC UA is specified in part 2 of the specification by OPC Foundation. One of the most important considerations in choosing a technology is security. OPC UA focus on securing the data exchanged between applications by implementing a sophisticated security model that ensures the authentication of clients, servers, and users and the integrity of their communication. It uses X.509 certificates and corresponding private keys. Digital certificates are electronic credentials issued by trusted entities that are used to verify the identities of individuals, computers, and further entities on a network. Digital certificates function in the same way as identification cards such as passports and drivers' licenses [KE17]. The data is transferred as follows: first, a secure channel is established to ensure confidentially by providing encryption, messages signatures to maintain integrity and application authentication using X.509 application instance certificates during the establishment of a secure communication connection [UN17]. Second, a secure session is established between server and client to guarantee user´s authentication and authorization. OPC UA uses symmetric and asymmetric encryption to achieve confidentiality as a security objective, including symmetric and asymmetric signatures to address integrity [KE17]. OPC UA also provides tracking information which is an essential fragment of a site cyber security management system through a clear auditing mechanism.

Secure data transfer between clients and servers in OPC UA is based on certificates issued by a certificate authority (CA). OPC UA client and server both have application instance certificates, which are sent to the other member of communication channel while establishing a secure channel. Both parties validate the received certificates from

CA. After the secure channel has been established, client starts to establish a session with server by sending its software certificate to server. After, the server authenticates the user; it authorizes the access to the requested objects. Sometimes HTTPS is used to create secure channels, however these channels do not provide application authentication. Software certificate can be installed on several hosts, describe the capabilities of the software product. An OPC UA Application installed on a single machine is called an Application Instance. Every instance must have its individual Certificate, used to identify itself when connecting to other applications. It is identified by a global unique URI. Server responds to this request by sending its own certificates and again both members validate received certificates from CA. Certificates authenticated in OPC UA are X.509 certificates. In field device level, verifying every received certificate from CA would cause an important delay to data transfer. Therefore, due to X.509 hierarchical nature it is possible for an automation system provider to act as CA. For example, PLC could act as CA for all the field devices connected to it [KE17].

The security profiles of OPC UA are specified in part 7 of the specification by OPC Foundation. There are three security profiles available in OPC UA: Basic128Rsa15, Basic256 and none. Basic128Rsa15 is a group of security algorithms that include aes128 for encryption, sha1 for authentication and rsa15 for key wrap. Similarly, basic256 consist of aes256 for encryption, sha1 for authentication and RsaOaep for key wrap. On the other hand, Security policy none is used in case the application does not need to use security certificates for encrypted communication - the security policy none means no need for certificates or user login [KE17].

OPC UA is built to be platform independent; in addition to that the communication is constructed into layers on top of the standard TCP/IP stack. Above the standard transport layers there are two additional layers, one that handles the session and the other to establish a secure channel between the client and server. The transport layer is made up of TCP/IP and on top of that SSL, HTTP or HTTPS. The Communication layer guarantees a secure communication channel also ensures the authentication of the end-points. This is based on X.509 certificates; it consists of three parts: a public key that is publically known, a private key that is known only to the application, and identity information that allow applications to know who possesses the certificate [KE17]. securely.

4.2 Security Considerations with TSN

One of the key benefits of TSN is that with the use of Ethernet, it has the advantage of deploying existing, compatible security standards and management features. To secure key TSN features and functions, Avnu Alliance (community responsible for certifying TSN and AVB standards) has identified security considerations that require interfacing with network-based security functions for authorizations, authentication and management [BS16]. The network-based security functions must guard against attacks such as Denial-of-Service (DoS), which target the time-critical function of TSN. Attacks

can also exploit the time/clock synchronization protocols, such as Precision Time Protocol (PTP) and Time Division Multiple Access (TDMA) mechanism, both used by TSN. [TG09] and [Py14] identified network attacks against PTP, in an industrial context (substation automation), some of which the TSN integrated features to protect against. There are no integrated controls for interruption of message exchange attack and selective packet delay. TDMA provides guaranteed bandwidth, absence of collisions, and bounded and predictable latency collisions. TSN uses the TDMA features to split time into repeating cycles, to allow convergence of critical and non-critical information on one network [BE16] [Tm15]. Time slots in these cycles are reserved for critical data streams, and require synchronization between the internal clocks for the network devices, to be maintained [BE16]. Attacks against these time slots and the clock synchronization can disrupt the transmission of critical data. In wireless deployments, especially, TDMA is susceptible to DoS attacks caused by jamming [Tm15]. Other network security threats, as identified in [Mt14], include Layer 2/3 DoS attacks, performance attacks, and network reconnaissance through exploitation of the time protocol.

Both [Py14] and [TG09] provided proposals to address the PTP attacks, however, some of these proposals have limitations that can allow attackers to bypass the controls through the exploitation of a different attack path. Additionally, these proposals require further analysis, to identify potential drawbacks of implementing controls such as: (1) the clock drift correction of islanded nodes, to preserve clock synchronization; (2) layer 2 security mechanisms such as Media Access Control Security (MACsec) and Ingress Filtering and Policing, which respectively used to authenticate, encrypt and preserve the integrity of the data streams between the network participants, and verify data integrity; (3) increasing the level of encryption in the packets, to preserve message integrity; Defense in Depth and Diversity network access layer security mechanisms, to harden TSN at routers and switches; (4) adding a handshake mechanism for additional master clock verification; and (5) using encrypted tunnels, to secure the communication between master and slave clocks [BE16] [Py14].

The controls implemented to secure TSN must protect against network security attacks, whilst also preserving the critical real-time functions and features of TSN. In that, these controls themselves must have real-time capabilities. Otherwise, the introduced latency can cause time-sensitive end-device applications to enter a safe shutdown state immediately [BE16].

4.3 OPC UA TSN (OPC UA over TSN)

OPC UA TSN represents the combination of the IEEE TSN Ethernet standard and the publisher/subscriber extended OPC UA protocol, which supports the standardization of communication in industrial automation for IT and OT integration, a basic requirement for realizing IIoT and I4.0 [TE16]. For this, the OPC UA publisher/subscriber (extended) protocol was referenced instead of the client/server model presented in IEC 62541.

[IN16] states that is because the client/server architecture OPC UA standard is not ideal in fulfilling the requirements for implementing IIoT and I4.0. As such, the OPC Foundation is in the process of standardizing OPC UA Publisher/Subscriber as an additional communication model [IN16]. The TSN specification covers the data link layer (Layer 2) and the physical layer (Layer 1), whilst the OPC UA covers higher layers in the OSI model [Rm16]. Combining TSN with OPC UA provides advantages for the automation architecture: the real-time, deterministic network capabilities for I4.0 can be realized, along with the required manufacturer- and platform-independent, interoperable network devices. With the widely-used Ethernet providing the backbone, in conjunction with an international standard for interoperability, this new architecture provides a flexible, future-proof network, that delivers scalability and low maintenance cost [IN16]. Development, testing and implementation is being driven by a group of leading automation and information technology suppliers, as they envision it as the solution for achieving "*an open, unified, standards-based and interoperable IIoT solution for deterministic and real-time peer-to-peer communication between industrial controllers and to the cloud*" [AB16].

The AREVA SMARTEST R&D Project will also consider these protocols, with the aim of contributing to an overall improvement in security for I&C. For instance, this project will: (1) use the protocols for comprehensive modelling and analysis; (2) involve preparation of security tests that will be applicable for OPC UA enabled devices from multiple vendors; and (3) provide products with OPC UA interfaces, like AREVA SIPLUG®, so that overall interoperability solution costs are reduced by up to 90%.

5 Conclusion

To successfully realize the I4.0 architecture, challenges to security and interoperability must be sufficiently addressed. This complex architecture features interconnections of devices and networks, which require communication standardization to support cross-platform communication, and security controls to preserve confidentiality, integrity, and especially, availability. The standards, IEC 62443, IEC 62541, ISO 27000 series and IEEE1722-2016, addresses these challenges, however, additional testing and extensions are necessary to qualify the recommendations of these standards as sufficient and efficient based on IIoT and I4.0 requirements. For instance, features and functions implemented to guard against cyber-attacks must not impede time-critical communication. As well, controls must be implemented to guard against identified attacks. It is envisioned that the continued work of standardization bodies and invested organizations, will provide additional guidelines to address this function versus interoperability and security dilemma. The AREVA SMARTEST project aims to also contribute to the on-going effort of 'smart' testing and 'smart' security, to ensure reliable and resilient systems.

Acknowledgements

Some of the addressed cybersecurity related topics are being elaborated as part of AREVA GmbH's participation in the "SMARTEST" R&D (2015-2018) with German University partners, partially funded by German Ministry BMWi.

References

[AB16] ABB: Leading automation and information technology suppliers drive OPC UA TSN for unified IIoT communication to the controller level, abb.com/cawp/seitp202/288CCF9454F992B9C1258074002D93EC.aspx, accessed: 25/07/2017.

[BE16] Belden: Cyber security for TSN in modern automation networks, wireless.electronicspecifier.com/around-the-industry/cyber-security-for-tsn-in-modern-automation-networks, accessed: 25/05/2017.

[BS16] Baehren, F.; Stanton, K.: Avnu Alliance: Compliance & Interop for the Common Parts of TSN/AVB, standards.ieee.org/events/automotive/2016/d2_05_baehren_avnu_certified_time_sensitive_networking_1.01.pdf, accessed: 25/05/2017.

[CC14] CEN-CENELEC-ETSI: Smart grid coordination group. Smart grid information security,energynetworks.org/assets/files/electricity/engineering/Standards/SGCG%20Reports%20071014/SGCG_WGSGIS_Sec0078_INF_ReportforComments.pdf, accessed 22/06/2017.

[IE09] IEC 61850-7-420 Communication networks and systems in substations - Part 7-420: Basic communication structure - Distributed energy resources logical nodes.

[IE10a] IEC 61850-7-2 Communication networks and systems in substations - Part 7-2: Basic communication structure for substation and feeder equipment - Abstract communication service interface (ACSI).

[IE10b] IEC 61850-7-3 Communication networks and systems for power utility automation - Part 7-3: Basic communication structure - Common data classes.

[IE10c] IEC 61850-7-4 Communication networks and systems for power utility automation - Part 7-4: Basic communication structure - Compatible logical node classes and data object classes.

[IE11] IEC 61850-8-1 Communication networks and systems in substations - Part 8-1: Specific communication service mapping (SCSM) – Mappings to MMS (ISO 9506-1 and ISO 9506-2) and to ISO/IEC 8802-3.

[IE13] IEC 61850-1 Communication networks and systems in substations – Part 1: Introduction.

[IE15a] IEC 62443-3-3: Industrial communication networks – Network and system security – Part 3-2: Security risk assessment and system design.

[IE15b] IEC 62541-2 OPC Unified Architecture – Part 2: Security Model.

[IE15c] IEC 62541-3 OPC Unified Architecture – Part 3: Address Space Model.

[IE15d] IEC 62541-4 OPC Unified Architecture – Part 4: Services.

[IE15e] IEC 62541-5 OPC Unified Architecture – Part 5: Information Mode.

[IE15f] IEC 62541-6 OPC Unified Architecture – Part 6: Mappings.

[IE15g] IEC 62541-7 OPC Unified Architecture – Part 7: Profiles. Switzerland: IEC.

[IE16a] IEC 62451-1 OPC Unified Architecture – Part 1: Overview and Concepts.

[IE16b] IEEE 1722-2016: IEEE Standard for a Transport Protocol for Time-Sensitive Applications in Bridged Local Area Networks.

[II16] IIC: Industrial Internet of Things Volume G4: Security Framework., iiconsortium.org/pdf/IIC_PUB_G4_V1.00_PB-3.pdf, accessed: 22/05/2017.

[IN16] Industrial.softing.com: Implementing Deterministic OPC UA Communication, industrial.softing.com/uploads/softing_downloads/OPCUAPublisherSubscriber_W_EN_160407_100.pdf, accessed: 25/05/2017.

[IS16a] i-Scoop: Industrie 4.0: the fourth industrial revolution – guide to Industrie 4.0, i-scoop.eu/Industrie-4-0/#Industrie_40_definition_the_digital_transformation_of_Industrie_and_the_fourth_industrial_revolution, accessed: 22/05/17.

[IS16b] International Society of Automation - The 62443 series of standards, isa99.isa.org/Public/Information/The-62443-Series-Overview.pdf, accessed: 29/05/2017.

[KE17] Kepware: How OPC UA protects your data, info.kepware.com/blog/how-opc-ua-protects-your-data, accessed: 22/06/2017.

[Ls11] Lehnhoff, S.; Mahnke, W.; Rohjans, S.; Uslar; M.: IEC 61850 based OPC UA Communication - The Future of Smart Grid Automation. In: 17th Power Systems Computation Conference, Sweden, 2011.

[Mc15] Mosch, C.: RAMI 4.0 and Industrie 4.0 component, mv.vdma.org/en/-/rami-4-0-und-industrie-4-0-komponente, accessed: 22/05/2017.

[Mt14] Mizrahi, T.: Security Requirements of Time Protocols in Packet Switched Networks, tools.ietf.org/html/rfc7384#page-7, accessed: 25/05/2017.

[OP16] OPC Foundation: Unified Architecture: Interoperability for Industrie 4.0 and the Internet of Things, opcfoundation.org/wp-content/uploads/2016/05/OPC-UA-Interoperability-For-Industrie4-and-IoT-EN-v5.pdf, accessed: 22/07/2017.

[Py14] Pathan, Y., Dalvi, A., Pillai, A. and Patil, D. (2014), Analysis of selective packet delay attack on IEEE 1588 Precision Time Protocol. Available at: colorado.edu/itp/sites/default/files/attached-files/team_7_-_arun_ravindran_pillai_-_apr_25_2014_433_pm_-_group_7_final.pdf.

[Rm16] Rowe, M., Time-Sensitive Networks Find New Applications, eetimes.com/author.asp?section_id=36&doc_id=1330816, accessed: 25/05/2017.

[TE16] Technik-medien.at: OPC UA TSN | Foundation for Industrial IoT and Industrie 4.0., technik-medien.at/wp-content/cache/page_enhanced/technik-medien.at//2016/11/27/opc-ua-tsn-grundsteinlegung-fuer-industrial-iot-und-industrie-4-0//_index.html_gzip, accessed: 25/05/2017.

[TG09] Tournier, J.; Goerlitz, O.: Strategies to Secure the IEEE 1588 Protocol in Digital Substation Automation. In: The Fourth International CRIS Conference on Critical Infrastructures, IEEE, Linkoping, Sweden, pp.1-8, 2009.

[Tm15] Tiloca, M.; De Guglielmo, D.; Dini, G.; Anastasi, G.; Das, K.: JAMMY: a Distributed and Dynamic Solution to Selective Jamming Attack in TDMA WSNs. IEEE Transactions on Dependable and Secure Computing, 08/15, (In Press), 2015.

[TT15] TTTech: IEEE TSN (Time-Sensitive Networking): A Deterministic Ethernet Standard, tttech.com/technologies/deterministic-ethernet/time-sensitive-networking/, accessed: 25/05/2017.

[TT17] TTTech: TTTech Successfully Completes First Interoperability Testing of TSN Preemption Standard, tttech.com/news-events/newsroom/details/tttech-successfully-completes-first-interoperability-testing-of-tsn-preemption-standard/, accessed: 25/05/17.

[TÜ17] TÜEV NORD CERT GmbH: Industrial IT Safety and Security for Control and Communications Systems Industry 4.0, tuev-nord.de/fileadmin/Content/TUEV_NORD_DE/pdf/PDB_Zertifizierung_nach_IEC_62443_EN_WEB.pdf, accessed: 21/06/17.

[UN17] Unified Automation: C++ Based OPC UA Client/Server SDK Documentation, documentation.unified-automation.com/uasdkcpp/1.5.3/html/L2ServerSdkSecurity.html#L3ServerSdkSecurityAA, accessed: 22/06/17.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 987

Forensic-Related Application Security Controls for RHEL in Critical Infrastructure

Edita Bajramovic[1] and Andreas Lainer[2]

Abstract: Industrial cyber security is an avid area of research. Incident response and forensic investigations are complex activities. Due to the complexity of critical infrastructures, such as Nuclear Power Plants (NPPs), preparation is vital. Manual approaches still tend to be favored mainly because of (physical) safety assurances. The tasks and actions required and the outcomes to expect need to be documented. Application Security Controls (ASCs) are a good way to document forensic controls for which an extended model is proposed. However, ASCs must be tested further on forensic applicability and there are also considerable alternatives. In terms of possible additional security measures and to apply the gained insights, one exemplary operational Instrumentation & Control (I&C) server system is analyzed in order to derive recommendations.

Keywords: application security controls, forensics, critical infrastructure, RHEL, standards.

1 Introduction

Critical infrastructure depends on information technology during the operation. The possibility to manipulate any system of any critical infrastructure could be a major threat to many lives or physical conditions [IEC613]. This is especially true for infrastructures in the nuclear sector, for example Nuclear Power Plants (NPPs). Most existing nuclear reactors, designed 40 or 50 years ago, are managed mainly by analog Industrial and Control (I&C) systems that are not highly susceptible to modern cyberattacks [HA14]. But, newly designed reactors are managed by digital I&C systems which are highly vulnerable to cyberattacks. Examples of advanced cyber-attacks with malware are Stuxnet and Flame, both very sophisticated in design, which are targeted at specific systems to sabotage or steal information, respectively [VGA13]. Advanced targeted attacks need many organizational, financial and technical resources. Actors who are willing to make such a high effort are also capable of ensuring that traditional cyber security protection mechanism are limited in successful detection of such attacks [VGA13]. For the same reason, they are likely to be very persistent, which is why they are referred to as Advanced Persistent Threats (APTs). A lot of effort and research is being put into securing critical industrial infrastructures. However, this is very challenging because of many aspects, e.g., proprietary hardware [Fo15], complex and legacy architectures, proprietary protocols or even extinct technologies and manufacturers [FC08]. International organizations are

[1] Friedrich-Alexander-University Erlangen-Nuremberg, Department of Computer Science, Martensstrasse 3, Erlangen, 91058, edita.bajramovic@fau.de
[2] Friedrich-Alexander-University Erlangen-Nuremberg, Department of Computer Science, Martensstrasse 3, Erlangen, 91058, andreas.lainer@fau.de

doi:10.18420/in2017_101

actively working on new guidelines and standards. For example, the International Atomic Energy Agency (IAEA) started the Coordinated Research Project that focuses on incident management. Furthermore, the International Electrotechnical Commission (IEC) is now developing a new standard that focuses on security controls for NPPs in the SC 45A Subcommittee. Thorough analysis of every security incident and learning from the gathered evidence [Fo15] is very important for further improvement of existing and new nuclear I&C systems. The ability to gather and preserve evidence can be useful even before an incident occurs [Ro04]. Without adequate preparation, required evidence could be ignored, discarded or damaged at any point before, during or after an incident [Ta01]. Also, evidence may ultimately not be generated by default because the functionality to perform logging or auditing tends to be initially disabled on deployed systems, which would make additional measures such as network monitoring mandatory to help understanding the communication in case of an incident [FC08]. Generally, an effective logging system greatly assists a possible investigation with relevant logs [Ed15]. Furthermore, logging is essential as it ensures traceability. For example, one could practice Digital Forensic Readiness (DFR) to increase the usefulness of evidence and decrease the cost of doing forensics [Ta01]. Not much research is done regarding DFR in the context of critical industrial infrastructures. Forensic-related measures could, for example, be modeled as security controls [Ba17]. The fairly new international multi-part standard ISO/IEC 27034 "Application Security" postulates a concept called Application Security Control (ASC) which is a semi-formal approach aimed at specifying complex security controls [ISIE11]. The server system is expected to run Red Hat Enterprise Linux (RHEL). For this, additional guidance on the generics of RHEL was taken from the latest versions of Red Hat Enterprise Linux 7 System Administrator's Guide [RH16b] and Red Hat Enterprise Linux 7 Security Guide [RH16a]. The operating system RHEL is described in terms of forensic evidence and other technical opportunities and the model for security controls is presented and extended with forensic-related aspects.

2 Concept for Application Security

The international multi-part standard ISO/IEC 27034 "Application Security" (part of the ISO/IEC 27000 ISMS family) can assist organizations with the task of integrating security into their applications by providing concepts, principles, frameworks, components and processes [ISIE11]. The standard defines application as "any IT solution". Within the scope and context of nuclear cybersecurity, this could be, for example, a specific nuclear I&C system or multiple I&C systems [GB16]. There is a growing need for increased security because applications need to be protected against intended and unintended vulnerabilities, e.g., inherent software errors or retroactive changes to the context of an application [ISIE11]. Being able to maintain a secure development environment is an important aspect of defense strategies [So12]. A systematic approach for security integration ideally provides evidence that the information being processed by the application is protected in an appropriate way [ISIE11]. Some sub-parts have already been published as international standard and some are still at a preliminary draft stage. Part 3

of ISO/IEC 27034 describes the two overall management processes that contain all the frameworks and components. The Organization Normative Framework (ONF) Committee makes use of the ONF Management Process and is responsible for implementing and maintaining an Application Security Management Process (ASMP) [ISIE16a] while making sure it is practical for all application projects [GB16]. Each particular project is then itself responsible for implementing and utilizing a concrete ASMP to manage their security aspects, eventually resulting in an Application Normative Framework (ANF) [ISIE16a]. Fig. 1 provides an overview of the security management process and its five steps.

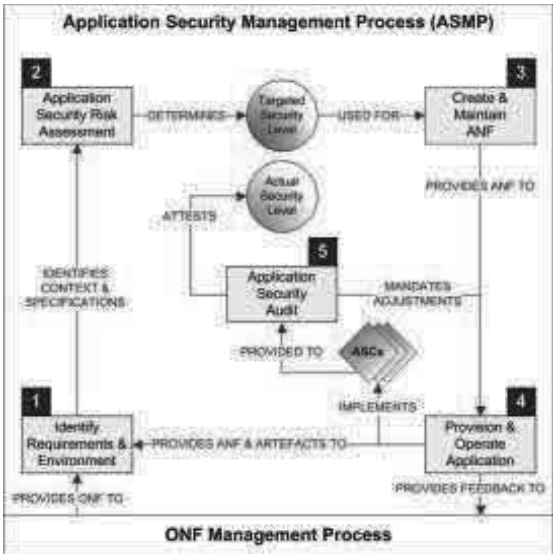


Fig. 1: Application security management process [ISIE11]

The security of an application is finally verified by the last step named application security audit. In the context of the standard, an audit takes the evidence provided by verification measures of performed security activities which have been provided as Application Security Controls (ASCs). ASCs are a semi-formal (extendable) data structure to describe complex security controls [ISIE16b]. Audits should ideally take place internally and also externally [GB16]. Parts 5 and 5-1 are of most importance to this paper because they contain requirements and recommendations on ASCs. Part 5 contains information requirements for individual ASCs. This part is already at the stage Draft International Standard (DIS), meaning that it is being inquired and targeted for publication on 2017-05-30 [ISIE17]. Thus, the contained requirements should not be subject to change. Part 5-1 contains recommendations on the formal structure for ASCs by providing graphical representations and XML schemes and can be seen as a concrete implementation [ISIE16c]. Because this part implements the requirements from Part 5, its content can also be seen as quasi-stable, although its status is still that of a Proposed Draft Technical

Specification (PDTS).

3 Application Security Controls (ASCs)

The principle of demonstrating security is supported by ASCs. Conventional controls may not be precise enough [ISIE12], requiring to create unambiguous, detailed and rich model-based security-controls. ASCs are defined as a "data structure containing a precise enumeration and description of a security activity and its associated verification measure to be performed at a specific point in the life cycle" [ISIE11]. Life-cycle in this context is defined as "evolution of a system, product, service, project or other human-made entity from conception through retirement" [ISIE11]. Applicability of ASCs includes all "processes, components, software, results, data, technologies and actors" involved in an application [ISIE11]. Possible sources for ASCs can be, for example, "standards, best practices and roles, responsibilities, and professional qualifications, technological, business, and regulatory contexts and application specifications" [ISIE11]. Processes related to ASCs can be grouped in three phases [Wa17]. The development (also creation) of ASCs is usually done by a team with a specialization in security (inside or outside staff). The distribution (also deployment) of ASCs is managed by the Organization Normative Framework (ONF) and the Application Normative Framework (ANF). The continuous maintenance (also improvement) of ASCs is finally backed by the ONF Process and the ANF Process. An organization-wide ASC library, which is part of the ONF, collects all ASCs and makes sure that a global distribution standard is established [Ba17]. ASCs are transferred from the organization library to the ANF which contains only the information required for a specific application [ISIE11]. A graphical example for an organization ASC library is shown in Fig. 2.

Application specifications, business, regulatory and technological context will yield constraints which determine the contents of the library, for example, laws to follow or compliance with standards. Key-components of an ASC are shown in Fig. 3. First, an ASC references an Application Security Life Cycle Reference Model (ASLCRM) to introduce activities and measures into existing processes. Organizations tend to already have in place life-cycle models to manage their complex applications. Such models are usually highly customized and have been in use for a long time. This is why the standards do not raise or mandate any changes to such models. The reference model is part of the ONF and related processes are, for example, "application management, application provisioning and operation, infrastructure management and application auditing" [ISIE11]. Second, there are four items that will now be briefly explained in terms of content, named Security Requirements, Targeted Security Level, Security Activity, and Verification Measure. An ASC has to state Security Requirements and targeted Level of Security (or trust) including a description on Why they are targeted or associated [ISIE16b].

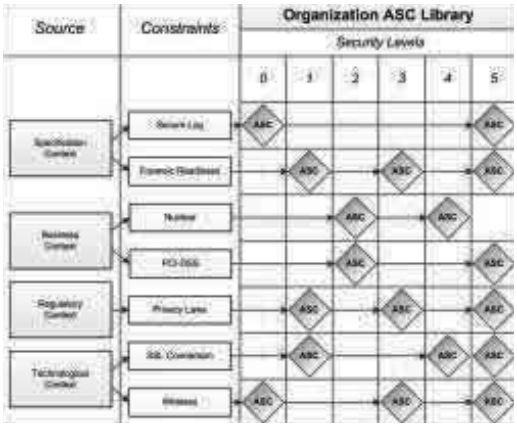


Fig. 2: ASC library [ISIE11]



Fig. 3: Key components of an ASC [ISIE11]

The descriptions of Security Activity and Verification Measure have to include additional information regarding certain questions, for example, what a high-level description as well as a detailed workflow specification for performing the activity or the measure. Additionally, ASCs can contain references to so called super-ordinate and sub-ordinate ASCs [ISIE16b]. Relations can be established via child-parent linking, making them ideal for graph visualization and analysis. One set of selected ASCs can form a package (to be exported), for example, one with all forensics-related controls. A simple graphical example for this can be seen in Fig. 4.

4 Model Specification

ASCs should be made available as XML documents [ISIE16c]. An ASC contains information on items that are usually managed on their own, for example, assets or requirements. However, the standard also recommends that ASCs should be self-contained in order to be easily exchangeable [ISIE16b]. A potential management application should

take this into account and provide a reference or link to the relevant information in order to ease management. The implementation example from the standard will now be explained in detail. Required extensions and relevant properties related to forensics are subsequently proposed and explained in the following Sections.

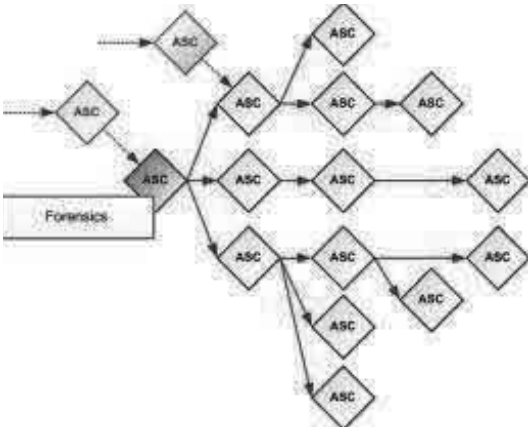


Fig. 4: Directed graph of an ASC package [ISIE11]

4.1 Structure of ASCs

The associated recommendations and information requirements from the ASC standard are implemented as a XML Schema Definition (XSD), which can be acquired from ISO/IEC directly (see [ISIE16c] or [ISIE17] for a link/contact). Optional elements have dashed frames, compound elements (no basic type) are in underline text, and important elements are in bold text. XSD files define the structure of XML documents and the contained elements and can also be used to validate instances. The header of the current and last ASC XSD version 1:0:0 from ISO/IEC can be seen below. The XSD also defines an own name space to provide references to the ASLCRM (Application Security Life-Cycle Reference Model). Each element can specify the attributes minOccurs and maxOccurs. The default value for omitted attributes is 1 for both (exactly one element). Optionality can be specified by minOccurs set to 0. By setting maxOccurs to either n 2 Z>0 or unbounded, it can be specified how many times an element can occur. ASC Package: This is the top-level element of the standard for bundling one or many related ASCs in form of a package [ISIE16c]. ASC Identification: This is the first ASC section that defines global information related to the identity of the ASC [ISIE16c]. ASC Objective: This is the second ASC section which defines key attributes of an ASC [ISIE16c]. ASC Security Activity and Verification Measure: These are the third and fourth ASC sections that contain the information that is pertinent to activity and measure [ISIE16c]. ASC Actor and Information: These complex types are references on multiple occasions from the already introduced items.

5 Forensic-Related Extensions

Activity elements (security activity and verification measure) are able to hold an unbounded amount of tasks. Forensic-related activities could be provided as an extra task in order to also make use of the ASCs as forensic-related security control. In order to distinguish the forensic tasks, the life-cycle reference that every execution moment of a task provides could be used and extended. The <ASLCRM_activity-name> element in the XSD contains and defines the stages and activities that reference the organization ASLCRM. Values such as FORENSIC_READINESS, FORENSIC_INVESTIGATION or INCIDENT_RESPONSE would need to be added there accordingly. An example implementation of a single ASC could be: The security activity configures a daemon to enable a function F. A forensic-relevant task would then contain a reference to a baseline configuration that configures the intended function F, e.g., a configuration management system. The verification measure verifies that F is enabled and functions in the intended manner. A forensic-relevant task would then contain a reference to, e.g., a logging system that contains logs related to the utilization of F. Finally, both activity elements provide lists of real example outcomes for the single commands or actions that need to be executed in order to verify their proper execution. **Life-Cycle Stage** in the identification section needs to be extended in order to incorporate the missing stages ENGINEERING (might be specified as DESIGN) and OPERATIONS. Incidents might occur during all three phases and this needs to be considered. **Parents and Children** in the identification section are to specify order and sequence of ASCs. The reference to other ASCs is provided as UID. For example, there could be a parent (detective) ASC that would contain the minimum set of properties needed for a child (detective) ASC, for example, the destination of the collected information, performed filtering, or acceptable collection delay [Wa17]. A child ASC related to logging would be derived and contain additional properties specific for logging. This would include the location of the log (could also be a buffer), permissions to access the log, format and structure of the log and the records, and notes on time stamping [Wa17]. **Requirement Type and Requirement Context** in the objective section needs to be extended to also allow for possible values like RECOMMENDATION or SECURITY_CONTROL. Although the requirement should itself also contain information on this matter, this would support the principle of self-contained ASCs. **Assigned Levels of Trust** in the objective section refers to an either outside or inside definition of the level of trust. This resembles the graded approach with security degrees or security levels. Examples are the degrees from ISO/IEC 62645 (S1, S2, S3 and BR) [IEC614], or an own grading and definition (e.g., 1 to 10). The levels need to be mapped in order to be interchangeable [Wa17] (see <levels-of-trust-range> element). **Conditions Type** of the conditions in the objective section may need to be extended. For example, a control that is “destructive” in terms of volatile evidence would need to contain a precondition to only execute the particular control after volatile evidence has already been collected, e.g., AFTER_VOLATILE_EVIDENCE. A list of threat assumptions that are aimed to be mitigated should also be included here in the conditions. **Information Items** of the target information in the activity synopsis contains precise information on information items. Both security activity and verification measure of an ASC are likely to

have the same scope and to affect the same processes and assets. Thus, the current implementation of the format results in an exact copy of this information within both activities. The reasons for this are, so far, unknown and this should be clarified first before considering to implement concrete ASC. However, the standard is still in the making which might explain this potential flaw. Also, the addition of an <uid> element should be considered to ease linking. **Artifact Type** of the outcome of a task in the activity specification needs to be extended with data types (e.g., DT_4_CONFIGURATION) in order to be forensically applicable, or at least with a type EVIDENCE.

5.1 Linking to Assets and Requirements

ASCs have to describe the scope and the affected information items, e.g., processes and assets. The existence of a proper asset management is an accepted precondition for conducting forensic investigations [Li16]. For example, ISO/IEC 27002 [ISIE13b] contains security controls regarding asset management (A.8) and their inventory, ownership, acceptable use and return (A.8.1) as well as the classification of information (A.8.2). The asset modeling or documentation process could be supported with 2D or 3D models of facilities [Ba17], making it more accessible and visual to support, for example, security zone definition, security control assignment, and security risk assessment [Se16]. While the inventory of assets tends to be done manually in some cases, an additional automatic asset identification should be used in order to improve the efficiency, e.g., on lower security zones [Li16]. What should at least be included in the configuration of an ASC is the exact position of the asset, e.g., within the building and within the rack [Wa17]. The identification of assets is typically utilized via some unique id or UID (at least unique within the organization) that should be part of the ASC. Additional information may then be accessed via this link. Assets are usually managed with own processes and applications. In case of a 3D or 2D model of the plant, the links should be bidirectional from both management applications [Se16]. Also, ASCs provide information on the requirements the ASC originates from. A less strict form of requirements are recommendations or security controls (also see proposed extension in the previous Section 3.2.2). Requirements are typically also managed in an own application and identified with an UID (used to link to additional information). For example, ISO/IEC 27001 [ISIE13a] contains the requirement “The organization shall determine its requirements for information security and the continuity of information security management in adverse situation, e.g., during a crisis or disaster” for the planning of information security. The recommendations regarding the management processes and applications for assets are also true for requirements.

5.2 Support on Attack Tree Generation

After a time-line of events has been successfully reconstructed, Tu et al. [Tu12] suggest to compose the meta-data of the associated attack operations into graphical nodes that are later developed into a larger augmented attack tree. As a result of this development, an

evidence tree for each considered attack is created [Ba17]. Fig. 6 shows a simple example attack tree for modifying a water pump I&C system in the form of a Bayesian Network, or Bayesian Attack Graph in this case. According to the assigned security level and the security zone where the water pump is located, certain ASCs related to forensics are selected and packed together [Ba17]. The attack tree shows various ASCs packages for different tasks. In this case, the first ASC package specifies which overall requirements the logs must have. It then descents and becomes more concrete with an ASC package with all internal logging measures, an ASC package with all external logging measures, a forensic-related ASC package on how to collect the logs (evidence), and finally an ASC package on where to store the logs [Ba17]. Another depicted package in Fig. 6 is concerned with configuration backup measures. The package approach supports that all activities are performed and none are bypassed in order to not endanger evidence [Ba17]. Also, this approach makes sure that only the relevant information is provided, for example, for a certain security level [Ba17]. ASCs need to describe tasks and the included actions to be performed, and the outcomes to expect [ISIE16b].

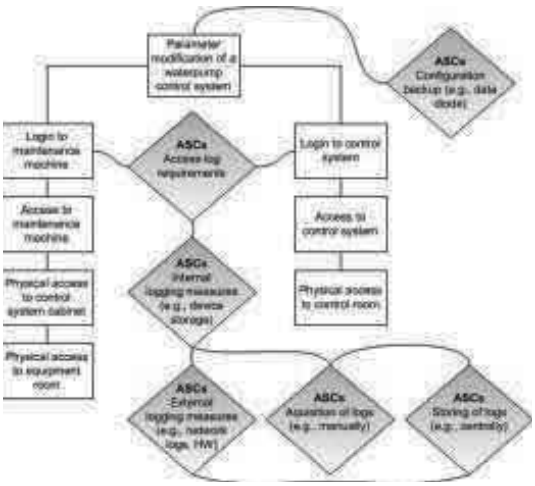


Fig. 5: Example attack tree and applied ASCs

The risk assessment process could be greatly assisted by providing information that may allow to generate attack paths or attack trees [Se16]. Information that may be used to show in the single nodes is, for example, meta-data that includes (but is not limited to) the log name, the format, the location, any timestamps, and all associated security features [Tu12]. The information that is especially contained in the following elements of an ASC may come in very useful: <parents> and <children> (edges), <target-information> (assets), <activity-complexity> (probabilities), <action-list> (possibilities) and <outcome> (evidence).

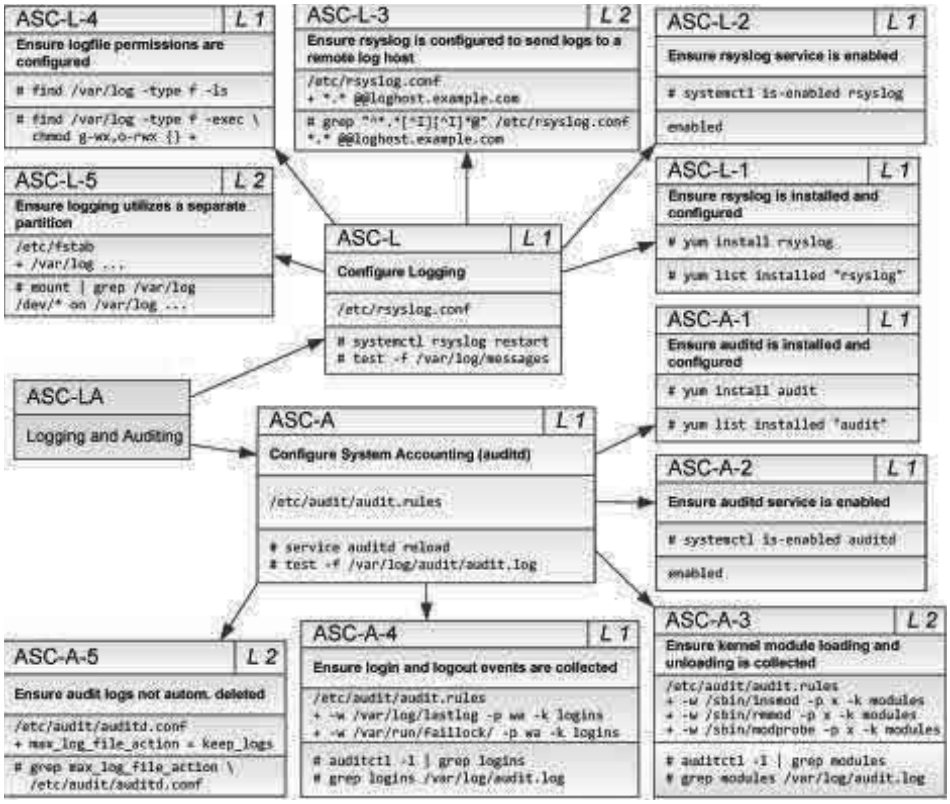


Fig. 6: Example logging and auditing ASC package for RHEL

6 Management Application Prototype for ASCs

A selection of the above list from the CIS guide has been taken and further detailed in Fig. 7 with information regarding the security level, the security activity, and the verification measure. This aids as a first concrete example on how forensic-related ASCs could be implemented. In order to demonstrate the technological values of Application Security Controls (ASCs), a small management application prototype for ASCs was also developed, created with TypeScript and Node.js. A picture of the web-application is provided in Fig. 8. However, the application is still very limited and was so far only created to show the visual aspects of ASCs.

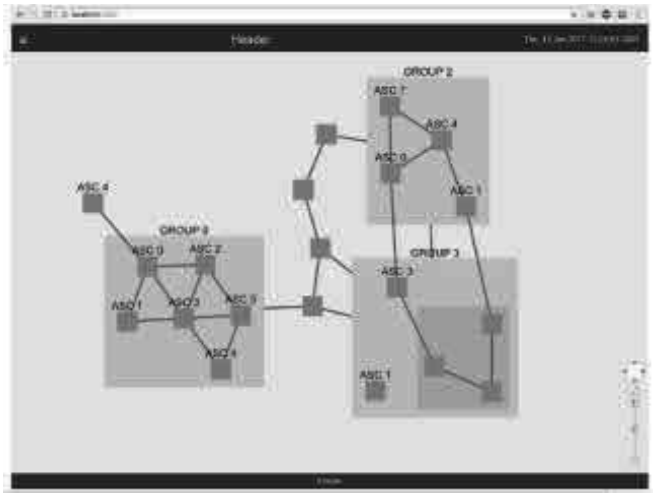


Fig. 7: Management application prototype for ASCs

7 Conclusion

The pervasive computerization and the incorporation of commercial IT products in NPPs gradually exposed the technology to risks initially not designed to handle [Fo15]. There are many good security measures from domains like IT that can be adopted and further developed to cope with the risks. Proven solutions should be favored in order to not accidentally and additionally increase the attack surface due to poor and ill-conceived solutions. Also, there is the very important requirement that security measures for a system must not have impact on its reliability [IEC616]. Non-intrusive solutions such as network security monitoring systems are well suited to fulfil this requirement because they do not disrupt time-critical communications and processes [Ng16]. Furthermore, security measures need to be incorporated into all life-cycles of a product [ISIE11]. Regarding DFIR, adequate preparation and response planning is key. Due to the fact that both forensic investigation and incident response are highly knowledge based, good ways to document and visualize this knowledge are needed, one example being Application Security Controls (ASCs). However, the forensic applicability of ASCs needs to be further tested due to the discussed limitations. Documentation is important to avoid a potentials loss of information due to, for example, resigning employees at vendors or operators. The common mistake of not taking extensive notes during an incident investigation [Kn15] should also be avoided. All these approaches combined might finally allow for a successful, optimized and cost-efficient analysis of an ICS compromise [Fo15].

References

[Ba17] Bajramovic, E. et.al.: Planning the Selection and Assignment of Security Forensics Countermeasures. In: Proc. of ICONE 25, China, 2017.

[Ed15] Eden P. et.al.: A Forensic Taxonomy of SCADA Systems and Approach to Incident Response. In: Proc. of ICS-CSR 2015, Germany, 2015.

[FC08] Fabro M.; Cornelius, E.: Recommended Practice: Creating Cyber Forensics Plans for Control Systems. In: Control Systems Security Program. US DHS National Cyber Security Division (NCSD), 2008.

[Fo15] Folkerth, L.; Forensic Analysis of Industrial Control Systems. In: InfoSec Reading Room. SANS Institute, 2015.

[GB16] Gupta, D; Bajramovic, E.: Security Culture for Nuclear Facilities. In: Proc. of NuSTEC 2016, Malaysia, 2016.

[HA14] Holt, M.; Andrews, A.: Nuclear Power Plant Security and Vulnerabilities. Congressional Research Service, 2014.

[IEC613] IEC 62443-3-3, Industrial comm. networks – Network and system security – Part 3-3: System sec. reqs. and sec. levels. IEC, 2013.

[IEC614] IEC 62645, NPPs – I&C–Req. for sec. programmes for computer-based systems, 2014.

[IEC616] IEC 62859, NPPs – I&C Systems – Reqs. for coordinating safety and cybersecurity. IEC, 2016.

[ISIE11] ISO/IEC 27034-1, IT – Sec. tech. – App. Sec. – Part 1: Overview and concepts. ISO/IEC, 2011.

[ISIE12] ISO/IEC 27000, IT – Sec. tech. – ISMS – Overview, ISO/IEC, 2012.

[ISIE17] ISO/IEC 27034-5, www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm?csnumber=55585, accessed: 2017/01/24.

[ISIE13a] ISO/IEC 27001, IT – Sec. tech. – ISMS – Requirements. ISO/IEC, 2013.

[ISIE13b] ISO/IEC 27002, IT – Sec. tech. – Code of practice for information security controls. ISO/IEC, 2013.

[ISIE16a] ISO/IEC DIS 27034-3, IT – Sec. tech. – App. Sec. – Part 3: Application security management process. ISO/IEC, 2016.

[ISIE16b] ISO/IEC CD 27034-5, IT – Sec. tech. – App. Sec. – Part 5: Protocols and application security controls data structure. ISO/IEC, 2016.

[ISIE16c] ISO/IEC PDTS 27034-5-1, IT – Sec. tech. – App. Sec. – Part 5-1: Protocols and app. security controls data structure – XML Schemas. ISO/IEC, 2016.

[Kn15] Knowles, B. S.: DFIR Analysis and Reporting Improvements with Scientific Notebook Software. In: Penetration Testing. SANS Institute, 2015.

[Li16] Li, J. et.al.: Graded Security Forensics Readiness of SCADA Systems. In: Proc. of INFORMATIK 2016, Austria, 2016.

[Ng16] Nguyen, T. D.: Network forensics lessons for industrial control systems. Tech. Rep. Naval Postgraduate School (NPS), 2016.

[RH16a] Red Hat Enterprise Linux 7 Security Guide. Revision 1-23, Red Hat Inc, 2016.

[RH16b] Red Hat Enterprise Linux 7 System Administrator's Guide. Revision 0.14-9. Red Hat Inc, 2016.

[Ro04] Rowlingson. R.: A Ten Step Process for Forensic Readiness. In: IJDE, 2004.

[Se16] Seibt S. et.al.: 3D Modeling of Selected Assets Security Zones and Conduits. In: Proc. of INFORMATIK 2016. Austria, 2016.

[So12] Song J.-G. et.al. A cyber security risk assessment for the design of I&C systems in nuclear power plants. In: Nuclear Eng. and Tech. 44.8, 2012.

[Ta01] Tan. J.: Forensic Readiness. Inc. Cambridge, Massachusetts, 2001.

[Tu12] Tu, M. et.al.: Forensic Evidence Identification and Modeling for Attacks against a Simulated Online Business Information System. In: Journal of Digital Forensics, Security and Law 7.4, 2012.

[VGA13] Virvilis N.; Gritzalis, D.; Apostolopoulos, T.: Trusted Computing vs. Advanced Persistent Threats: Can a Defender Win This Game? In: Proc. of the 10th ATC 2013. Italy, 2013.

[Wa17] Waedt K. et.al.: Development, Distribution and Maintenance of Application Security Controls for Nuclear. In: Proc. of ICONE 25. China, 2017.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 1001

On Industry4.0 Security, Maturity and Metrics semantically integrated by a Common SIEM Specification Language

Jan de Meer[1] und Jochen Link[2]

Abstract: Für die Festlegung eines zu erreichenden Sicherheitslevel SL-Target für Industrielle Produktionsanlagen IACS sind ihre Einsatzbedingungen maßgebend. Im Rahmen der Lebenszyklus-Definition (s. IEC 62443-4-1), muß u.a. ein Risk Assessment (s. IEC 62443-3-2 [IEC15c]) durchgeführt werden. Das Risk Assessment bezieht sich auf das gesamte System und auf einzelne Komponenten. Für die betrachteten Komponenten sind die IT-Gefährdungen zu überprüfen und ggf. Maßnahmen abzuleiten. Gegenstand von Sicherheitsüberlegungen von Industrieanlagen sind Fragen, welche Maßnahmen zu ergreifen sind, die sich z.B. aus dem vorgenannten Risk Assessment ergeben. Zur Modellierung und eindeutigen Darstellung soll eine gemeinsame 'SIEM Sprache' gefunden werden, die einerseits, in Ergänzung zu STIX/CybOX™ für das Management von Sicherheitsobjekten, die in XML (s. CybOX Object Listing) dargestellt werden und die andererseits für das Management von beobachtbaren Ereignissen mit signifikanten Sicherheitsinformationen (SIEM), auf Grundlage einer operationalen Semantik, geeignet ist. Aus diesem Ansatz ergibt sich, u.a. um verschiedenartige Werkzeuge integrieren zu können, eine universelle SIEM Kommunikations-Schnittstelle, an welcher Sicherheitsereignisse asynchron, mittels einer publish-subscribe SIEM middleware, als auch Sicherheitsobjekte, wie in der CybOX Liste spezifiziert, jedoch inform von <n-tuples> im sog. <n-tuple> space (vgl. JavaSpaces, SQLSpaces etc.), ausgetauscht, bzw. gemanagt werden. Dieser Beitrag zielt darauf ab, eine sog. SIEM Landschaft, bzw. eine universelle Schnittstelle für den Austausch von standardisierten Sicherheitsereignissen, im Format sog. <n-tuples>, aufbauend auf den standardisieren Konzepten 'Maturität - Indikatoren - Metriken', weitgehend formal, in operationaler Semantik, zu entwerfen.

Keywords: SIEM middleware, Information Security Indicators, <tuple>space, STIX/CybOX™, Industry4.0, IACS, ADT-based specification, Graph Manipulation Tool, Operational Semantics

1 Vermessung der Sicherheit in IAC Systemen

In [SLAMM16][3] ist eine 'Metrik' definiert, als 'Standardisierung der (Ver-)Messung einer Systemeigenschaft (Charakteristikum)' mit den Parametern: Berechnungsregel, Meßeinheiten, Anwendungsregeln, sonstige Parameter. D.h. die Metrik liefert Kenntnisse über die zu vermessende Systemeigenschaft, inbezug auf Wiederholbarkeit,

[1] Club R2GS German Chapter c/o smartspacelab.eu GmbH Berlin, Berner Str. 21B, 12205 Berlin, demeer@smartspacelab.de
[2] Ing. Link Ingenieurbüro, Spraulauche 14, 68782 Brühl, jlink@ing-link.de
[3] Das Normungsdokument ISO/IEC 2nd CD 19086-2 beschreibt die Metriken für *Cloud Computing* Dienste; nach Meinung der Autoren dieses Aufsatzes ist die Definition für Metriken auch für Industrie-Anlagen anwendbar, weil sie im Normenentwurf CD19086-2 sehr grundsätzlich ausfällt.

doi:10.18420/in2017_102

Reproduzierbarkeit, Vergleichbarkeit und grundsätzlich mögliche Meßergebnisse.

In einem Entity Relationship Diagramm (Abb. 2 in [SLAMM16]), wird die Vermessung einer Systemeigenschaft (measurement) durch eine spezifische Metrik (metric) definiert. Die Vermessung wiederum liefert Meßergebnisse (measurement results); wodurch die Systemeigenschaft (property) quantitativ eingeschätzt werden können. Die Meßergebnisse liefern somit Erkenntnisse (knowledge) über die vermessenen Systemeigenschaften.

Im folgenden Abschnitt werden die wichtigsten Begriffe, wie sie in CSlang Verwendung finden, definiert:

Metriken sind die geforderten Invarianten in einer Industrieanlage, die, wenn sie sich dennoch ändern, anzeigen, daß in der Anlage, bzw. im System, Maßnahmen geschehen sind, die eine bestimmte Metrik, z.B. den vorgeschriebenen Sicherheitsstandard, verletzen.

Indikatoren sind die zu vermessenden veränderlichen Parameter der Metrik, z.B. die verschiedenen Krümmungsparameter einer gebogenen Fläche mit unveränderlichem Inhalt (Metrik), die Hinweise darauf geben können, ob ein gegebener Sicherheitsstandard, bzw. -metrik, eingehalten worden ist oder nicht.

Gradienten stützen sich auf kontinuierliche Vermessung der Indikatoren einer Metrik. Im Beispiel des Vorgangs des Verbiegens von Flächen bedeutet das, daß in jedem Augenblick der Gradient, d.h. das Differential der Verbiegung und das Flächenmaß, bzgl. der spezifizierten Flächenmetrik, berechnet werden kann. Sicherheitstechnisch könnte der Gradient dafür genutzt werden, die Veränderungen zu berechnen, die ein Eindringversuch in ein, mit entsprechenden Indikatoren versehenem System, bewirken.

SIEM <n-tuple> space, auch SIEM Kanal oder SIEM Plattform genant, stellt die universelle Kommunikation zwischen Prozessen in kombinierten ICT- und IAC-Systemen dar und entspricht dem antizipierten SIEM aus dem ehemaligen Normungsvorhaben 27044.5[SIEMb15]. Ein <n-tuple> hat eine duale Natur, er ist einerseits ein Abstrakter Datentyp (ADT) der Daten und Attribute enthält und andererseits ein (Sicherheits-) Ereignis, das von Systemprozessen erzeugt und in den <n-uple>space gelegt wird. Der <n-tuple>space, der identisch ist mit SIEM, vermittelt die Sicherheitsereignisse zwischen den kommunizierenden Prozessen, technisch wie eine publish-subscribe middleware.

Maturity Levels (ML) beschreiben die Prozessfähigkeit (process capability) entsprechend [DIN ISO/IEC 15504-1:2011], d.h. die Fähigkeit eines Prozesses, aktuelle oder künftige Geschäftsziele zu erreichen. (Anmerkung: Der Begriff des Maturity Level (Reifegrad) nach dem Capability Maturity Model Integration (CMMI) Konzept, ist nach dem letzten Entwurf IEC 62443-3-3:2015[IEC15a] noch nicht hinreichend definiert.)

IACS[4] Referenz Architekturmodell (RAM) in Abbildung 1 beinhaltet die wesentlichen IACS Domänen, bzw. Komponenten:

- Sensoren und Aktoren im Feldbereich, verbunden über einen Feldbus;
- die Steurung der Feldkomponenten wird von einem Netzwerk (Distributed Control Network) von PLCs (Programmable Logical Controllers) ausgeführt;
- In separaten IACS Anlagen befinden sich darüber die Management Komponenten des Enterprise Resource Planning (ERP) und das Manufacturing Execution System (MES);
- eine zusätzliche I4.0 Plattform [s.a. VDE ETZ SPEC] liefert die Interkonnektivität zwischen verteilten IACS eines globalen Unternehmens, mit den Plattformkomponenten:
  - IoT[5] Gateway für die Interkonnektivität zwischen verteilten und lokalen IACS Applikations Servern;
  - SCADA[6] Monitoring und Display Warte des SOC eines lokalen IACS;

Komponentenweise Darstellung IACS Referenz-Architektur-Modell:

[4] IACS, Abkürzung für 'Industrial Automation and Control Systems', und 'Smart Factory' werden bei der Betrachtung einer IRAM, bzgl. des Normenentwurfs [DIN NA043-01-41AA N0764] als synonyme Begriffe verwendet;
[5] IoT, Abkürzung für 'Internet of Things' der Normungsgruppe ISO/IEC JTC1 WG11, bzw. DIN NA043-01-41;
[6] SCADA, Abkürzung für 'Supervisory Control and Data Acquistion', beinhaltet Komponenten zur IAC System Daten Erhebung und zur Echtzeitanalyse der unterliegenden Control NW Domains;

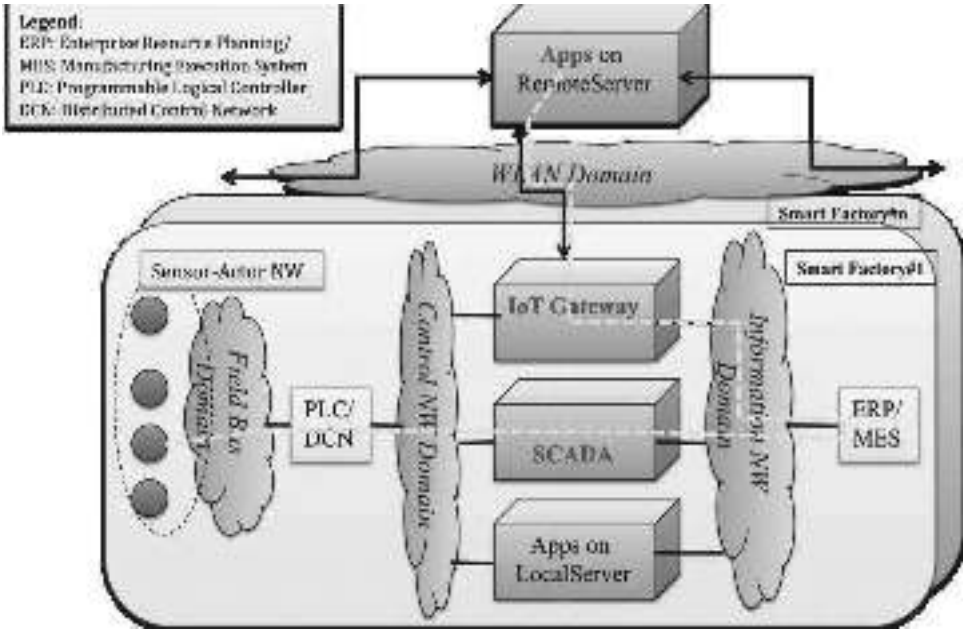


Abb. 1: IACS Referenz-Architektur-Modell

2 Umsetzung Security und Process Maturity Levels

Im Normenentwurf IEC 62443-3-3:2013[IEC15a] Security for IACS part3-3: System Security Requirements and Security Levels werden folgende drei Security Levels (SL) definiert: 1) der Target SL (SL-T) steht für die zu erreichende bzw. gewünschte Sicherheitsstufe eines Systems; 2) der Achieved SL (SL-A) steht für den erreichten SL bzw. den realisierten SL im Betrieb eines Systems; und 3) der Capability SL (SL-C) steht für den erreichbaren SL, den Komponenten oder Systeme bei richtiger Konfiguration und Integration ohne zusätzliche Maßnahmen liefern.

Die IACS Prozessfähigkeit bzgl. eines bestimmten Maturity Level wird z.B. nach dem Konzept Capability Maturity Model Integration (CMMI) [HeKn11], in die Klassen (ML) 1 bis 5, eingeteilt.

Maturity Levels werden in ähnlicher Weise, im Umfeld von Smart Cities verwendet; dazu die folgende Anmerkung: Mit [SCMM16] gibt es seit 2015 ein neues Normungsprojekt "Community Infrastructure Maturity Model (CIMM)" der Arbeitsgruppe JTC1 WG11 Smart Cities (das heute bereits den CD-Norm-Maturity Status erreicht hat). Mit "Community" sind hier die, für notwendige Investitionen in städtische, wie ländliche Infrastrukturen (Energie, Wasser, Verkehr zur Schiene, Straße,

Luft und Industrie-Anlagen, ICT/Cloud Server etc.), verantwortlichen Gemeinden gemeint.

Zu Beginn eines neuen Vorhabens werden die Anforderungen an die System Komponenten und Sicherheitsmaßnahmen, entsprechend [JLi16] und [JLi14] festgelegt. Die Ausgangsbasis dafür ergibt sich aus den gesetzlichen Grundlagen für das Data Management für die Sicherheitsbereiche IT Safety und Technische Anlagen.

Je nach Anforderung an eine Komponente und dem zugeordneten Security Level (SL, siehe Abschnitt 3) wird die vorhandene IT Infrastruktur in Zonen untergliedert. Zonen mit niedrigem SL1 müssen weniger Anforderungen erfüllen, als eine Zone mit SL4. Die Security Anforderungen an den Datenaustausch an Schnittstellen, sog. Conduits hängen von dem gewählten Security Level ab. Wenn im Extremfall alle Komponenten in einer einzigen Zone zusammen gefasst werden, gilt der Security Level für die am höchsten eingestuften Komponenten für alle Komponenten.

Für jede Entwicklung im Rahmen der IEC 62443 ist eine Risikobeurteilung (Risk Assessment) erforderlich. Wie sich diese Risikobeurteilung mit dem übergeordneten Risikomanagement für ein Unternehmen (ISO 31000), mit Vorgehensweisen zu ISO 27003 / 27005 und bezüglich der technischen IT Security (IEC 62443), mit Safety (IEC 61598-1) etc. abstimmen läßt, wird in Abbildung 4 mit folgender schrittweisen Vorgehensweise [JLi14], [JLi16] beschrieben:

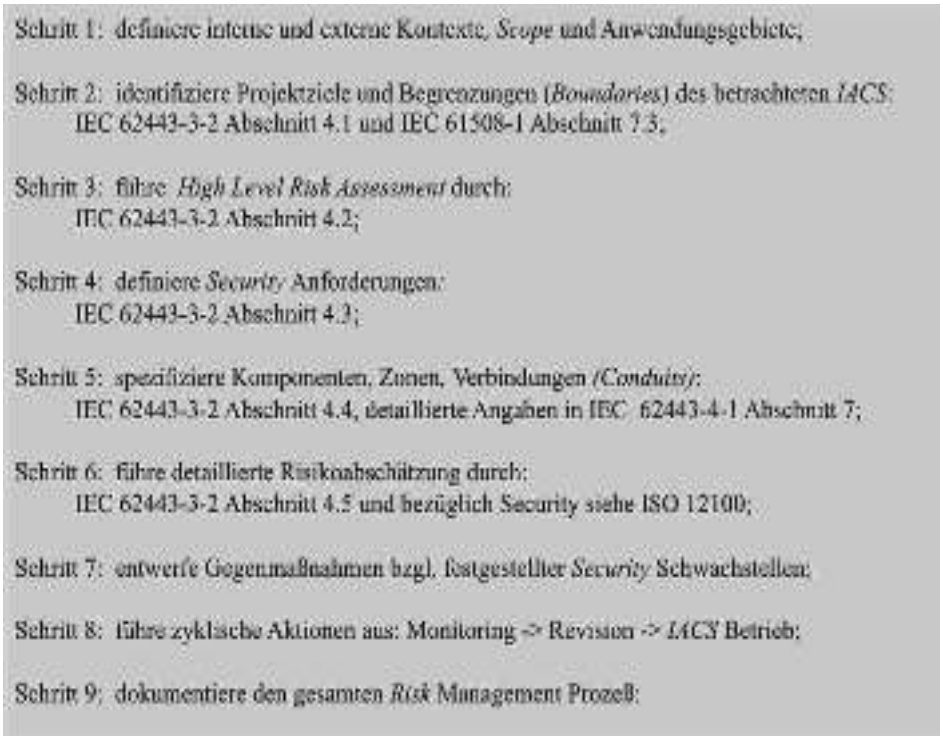


Abb. 4: IACS Risikoabschätzung, gestützt auf Normen ISO 31000, ISO 270 03/05, IEC62443-3-2, IEC62443-4-1, Lifecycle aus IEC61508-1.

Bei der Risikoabschätzung (s. Abbildung 4) sind für die Systemkomponenten die jeweiligen Gefährdungen, z.B. sog. Hazards, zu ermitteln. Ein praktisches Beispiel einer Bedrohungsmatrix für eine Switch Komponente in Abbildung 2, wird in Abschnitt 4 formal spezifiziert und in Abbildung 3 als ADT vorgestellt.

Aus dem Umfeld der (Office) IT Sicherheit ist das Management System der ISO 27001 bekannt. Etwas ähnliches wird es im Rahmen der IEC 62443-2-1 für den technischen Anwendungsbereich bzw. für IACS geben.

In Ergänzung zu Abbildung 4 zur Risikobeurteilung soll die Norm ISO 31000 ebenso betrachtet werden. Damit wird die Verbindung zum integrierten Management-System bzgl. der Risikobeurteilung hergestellt. Die Integration der Maßnahmen zur IT Security aus dem technischen Umfeld in ein integriertes Management-System ist möglich. Die High Level Struktur von Management-Systemen besteht aus den Maßnahmen, bzw. Aktionen: plan-do-check-act in zyklischer Art und Weise.

Die IEC62443-2-4 beschreibt die Anforderungen an das IT-Sicherheitsprogramm für Dienstleister. Die Anforderungen beinhalten beispielsweise die Themen: Mitarbeiter,

Systemaufbau, Verwaltung von Nutzerkonten, Datenübertragung, Konfigurationsverwaltung, Behandlung von Ereignissen, Schutz gegen Schadsoftware, Patch Management und Datensicherung bzw. Wiederherstellung.

Funktion, Dienst, Zugriff	**Bedrohung**	**Schwachstelle**	**Folge**	**Maßnahme**
Physischer Zugriff (Sicherheit)	direkter Zugriff, offene Ports, Manipulation Kabel	Kein Zugriffsschutz	Zerstörung oder Manipulation	Zugriff beschränken, geschütztes Umfeld
Port Sicherheit	Netzwerkzugang über Firewall hinweg	Schlechte Konfiguration, Zugang Anschlußdosen	Manipulation, keine Verfügbarkeit, Informationsbeschaffung	Netzwerkzugang einschränken, Organisation Zuständigkeit
Einfluss auf Datenverkehrs-Steuerung	DoS Angriff, Netzüberlastung mit Nachrichten	Zeitlicher Anforderungen an Automatisierung, Konfiguration	Zeitliche Kommunikationsanforderungen werden nicht erfüllt	Einsatz managebare Switche, Absicherung Bandbreite
Access Conrol List (ACL)	Unkontrollierte Nachrichtenströme	Mangel Kontrolle n Nachrichtenströme	Mangel Kontrolle	Einsatz von ACL, Maßnahmen abhängig vom Switch
Quality of Service (QOS), Rate Limiting	Hohes Datenaufkommen, Auslastung bestimmen	unzureichende QoS Klasse	Bedarf an Bandbreite berechnen	für verändertes Datenaufkommen geeignete Verkehrsklasse wählen; Weiterleitung nach Priorität;
Dynamic ARP Inspection [NWL15], [CIS17]	ARP Spoofing Attacken (Anfrageverfälschung)	ARP Spoofing	Manipulation Datenverkehr zw. Netzwerktei-lnehmern	ARP Inspection umsetzen, prüfen durch Switch ob IP, MAC Adressen u. ARP Antworten passen
IP Source Guarding	Bei IP Spoofing – IP Pakete mit gefälschten Absenderadressen	Zielsystem kann nicht erkennen von welchem Absender Pakete kommen	Nicht erwünschte Weiterleitung von Paketen	Switch pflegt mit DHCP Snooping eine Tabelle mit VLAN ID, IP u.MAC Adresse angeschlossener Systeme, nicht passende Pakete werden verworfen
CAM Flooding Protection	Switch kann sich keine Port / MAC Adressen mehr merken	Switch leitet Pakete an unbekannte MAC Adressen	Man-in-the-Middle Angriffe, Abhören von Daten	Content Addressable Memory (CAM) Flooding Protection umsetzen

Abb. 2: tabellarische Darstellung Bedrohungsmatrix für eine Switch Komponente.

3 Sicherheits-Indikatoren und Metriken

Sicherheitsstufen SL1 bis SL4, inbezug zu 'Foundational Requirements (FR)' entnommen der Normen IEC 62443-3-2 und angewendet auf industrielle Infrastrukturen [MeWa16] zeigen, daß in einem bestimmten Maßnahmenbereich, z.B. 'zeitgerechte Reaktionen auf sicherheitsrelevante Ereignisse' (FR_6=TRE) in industriellen Automatisierungs- und Kontrollanlagen (IACS), auch auf der niedrigen Sicherheitsstufe SL2:= 'geringe Motivation der Angreifer', erwartet werden können. Um wenigstens diese geringe Sicherheitsstufe sicherzustellen, werden geeignete Indikatoren benötigt, die Ereignisse von IACS-Maßnahmen über einen bestimmten Zeitraum "anzeigen" (monitoring) und ggf. über alle beobachteten Verstöße (incidents) gegenüber spezifizierten Sicherheitsanforderungen, Meldung geben und Beweise für nachfolgende forensischen Untersuchengen, sicherstellen.

In [ReGa16] ist eine kategorisierte Darstellung in der 'ETSI Information Security Indicators (ISI)' Tabelle [ETSI01] enthalten, was in einem Beispiel für 'Malware' Indikatoren verdeutlicht werden soll:

1. Malware bildet eine (family: MLW), die der (class: IEX) für 'Intrusions and External Attacks' angehört. Die Familie MLW besteht aus 4 ISI Komponentenbeschreibungen;
2. Für jede ISI-Beschreibung (Komponente) gibt es eine geeignete ISI-Spezifikation, bestehend aus den Parameter-Spezifikationen und Erwartungswert-Spezifikationen:

Die notwendigen Angaben zur Vermessung der Indikatoren, Parameter und Erwartungswerte, bestehen jeweils aus einem <tuple>-Element <spec wert>. Alle <n-tuples> ob einzeln oder in Kombination, werden im <n-tuples>-space als SIEM Ereignisse gemanagt (s. Abschnitt 'Operationale Semantik').

4 Operationale Semantik der Sicherheit

Die antizipierte Semantik des formalen Teils der Beschreibungssprache CSlang ist ein sog. Abstrakter Datentyp (ADT), der auf Grundlagen algebraischer Ansätze formaler Sprachen, gebildet wird und aus [BoMo79], [EhMa85], [Mos04] u.a. entlehnt ist.

ADTs können verglichen werden mit dem Ansatz 'Objekt-orientierter Entwurf (OO Design)'. Jeder ADT, bzw. Objekt besteht aus Datenmengen, SORTS, und Beziehungen zwischen diesen Datenmengen, OPNS (Operations), genannt. Ergänzt man Sorten und Operationen mit Regeln RULES (auch EQNS) genannt, so erhält man semantisch eine Algebra (vgl. Boolesche Algebra mit der einzigen Sorte BINARY, den konstanten Ziffern W und F, den 1- und 2-stelligen Operationen NICHT, UND, ODER, IMPLIKATION, den Regeln für Distributivität, Assoziativität, Kommutativität,

Idempotenz etc. und ggf. weiteren abgeleiteten Regeln, wie de Morgan, Komplement, Absorption etc.). Mittels der Regeln werden reguläre Ausdrücke gebildet, die Repräsentanten von {W, F} in der Sorte BINARY sind. Es entstehen also Objekte mit algebraischer Semantik, d.h. Abstrakte Datentypen (ADTs).

Ein ADT kann in CSlang u.a. auch als Prozeß fungieren. Prozesse akzeptieren Eingaben und produzieren Ausgaben, in asynchroner Art und Weise, bedingt durch die geforderte Autonomie der Prozesse. Daher sind Ein- und Ausgaben **Ereignisse**, die das Verhalten der Prozesse bestimmen: Prozesse konsumieren (konkrete) Ereignisse subskribierter Ereignisdatentypen und publizieren (konkrete) Ereignis bestimmter Ereignisdatentypen. Ereignisse als auch Daten werden also algebraisch typisiert, d.h. es entsteht ein 'multisorted ADT'. Die 'Ereignis ADTs' werden als <n-tuples> mit n Ereignis-Attributen <spec value>, dargestellt und werden somit im <tuples>space publiziert und konsumiert.

Als ADT Spezifikations-Beispiel soll eine ' Bedrohungsmatrix' für eine Switch Komponente (s. Abbildung 2: tabellarische Darstellung und Abbildung 3: ADT Darstellung einer 'Bedrohungsmatrix'), als 8 mal <5-tuple>, also eine Matrix mit 8 Zeilen mit je 5 Einträgen, formal spezifiziert werden. Das Ergebnis ist in der Spezifikation 'ADT Bedrohungsmatrix' in CSlang enthalten (s. Abbildung 3):

Zunächst werden für die Anwendung 'Bedrohungsmatrix' die benötigten 5 Datentypen (alg. Sorten) angegeben:

```
SORTS: TupleSpace Function Threat Vulnerability Impact
Measure;
```

wobei TupleSpace eine Ergebnissorte ist, die alle generierten <5-tuples>, also den Wortschatz einer Anwendung im TupleSpace, enthält.

Eine mögliche Bedrohung, z.B. die 5 Matrixzeile, als <5-tuple> lautet:

```
<QoS BwOccupied BwAnticipated QoSControl GuardQoS>;
```

wobei die <5-tuple> Elemente Datentypen, mit einem bestimmten Definitionsbereich sind.

Wie in Abschnitt 3 erläutert, kann jeder <n-tuple>Eintrag einen Wert aus seinem spezifischen Definitionsbereich annehmen; z.B. kann der obige Bedrohungs<tuple> mit seinen 5 Spezifikationen ergänzt werden, durch entsprechende Werte, die eine mögliche QoS-Bedrohung quantifizieren und ggf. korrigieren können[7]:

```
<'qosClassX' '90%' '60%' 'bandwidth(X-Y)'
'changeQoSClassY'>;
```

[7] der einfachheithalber werden an dieser Stelle <*tuple*> Spezifikation und -Werte nur korrespondierend und nicht paarweise, d.h. <*spec wert*> angegeben.

Diese Werte stellen sozusagen die Kurzform eines Programms, bzw. eines Regulierungszyklus, dar, das beschreibt, was geschehen muß, um den gemessenen QoS-Engpaß zu vermeiden, bzw. zu korrigieren; z.B. könnte ein Überschuß an nicht benötigter Bandbreite anderweitig verwendet werden.

ADT Spezifikation einer 'Bedrohungsmatrix' (Zeile 5 aus tabellarischer Darstellung in Abbildung 2):

```
ADT:  Threat Matrice {
      BASIC: Bool Int;
      SORTS: TupleSpace Function Threat Vulnerability
             Impact Measure;

      OPNS: <..> --> TupleSpace;

      OPNS: PhysAccess PortSecurity TrafficControl
            ACL QoS DAI IPSrcGuard CAM-->Function;

      OPNS: Access2Devices Access2NW DoS
            UncontrolledDFlows BwOccupied DAISpoofing
            IPSpoofing CAMFlooding-->Threat;

      OPNS: DeviceAccess NWConfiguration
            TimeConstraint DFlowControl
            BwAnticipated ARP IP CAM-->Vulnerability;

      OPNS: DeviceManipulation Availability
            TimeWindow DFlowControl QoSControl
            ARPManipulation IPManipulation MiMAttack
            -->Impact;

      OPNS: GuardDeviceAccess GuardNWAccess
            GuardSwitchBandwidth GuardACL GuardQoS
            GuardARP GuardIP GuardCAM-->Measure;

      RULES: select{
                 +Function:QoS∃QosClassDef
                 +Threat:BwOccupied∃BwRatio
                 +Vulnerability:BwAnticipated∃BwRatio
                 +Impact:QoSControl∃BwInteger
                 +Measure:QoSGuard∃BwSignal
                  } == <FTVIM valuetuple>;
...}
```

Abb. 3: ADT Darstellung einer Bedrohungsmatrix für eine Switch Komponente

5 Ergebnisse und Ausblicke der Industriellen Anwendung

Während die Datennetze den Datentransport auf der Grundlage von Kommunikationsprotokollen, in großer Menge auf großen Distanzen zwischen vielen Stationen bewältigen, bewältigen die IACS Anlagen dedizierte anlagen-stringente Meßdaten von der Sensorik zur Anlagen-, bzw. zur Fabrikkontrollstation (s. Abbildung 1), der sog. 'Security Operation Control Center' (SOC), die anschließend eine Analyse der publizierten Meßdaten, inform von Ereignis<tuples> vornimmt und daraus die Signale zur Steuerung der Anlage, bzw. Fabrik analysiert, berechnet und für die Anlagenaktoren publiziert. Jeder Aktor entspricht einem Ereignistyp, den er subskribiert hat. So entsteht ein Kontroll- und Regelkreis auf Grundlage einer formalen SIEM Plattform für IAC Systeme. Die SIEM Plattform ist integrales Kommunikationsmodell des umfassenden formalen CSlang Modells für Informations-Sicherheits-Indikatoren (ISI, [ETSI06]), wie vorangehend vorgestellt.

Alle angemeldeten Komponenten (subscriber role) bei der SIEM Plattform, wie Prozesse, Sensoren, Aktoren, Kontrollstationen, Produktionsprozesse (s. Abbildung 1) eines IAC Systems, werden sofort auf die Ankunft eines neuen Ereignis<tuples> hin informiert und können es konsumieren, verarbeiten und ihrerseits Ereignis<tuples> generieren und publizieren (publisher role), also neue Datenformate in den SIEM<tuples>space stellen. Eine Komponente kann also beide Rollen, subsrciber und publishcr Rolle, gleichzeitig spielen. Eine subscriber Komponente braucht nur die interessierenden Ereignis<tuple>Datentypen zu abonnieren. Die Verwaltung der Ereignis<tuples> übernimmt die SIEM Plattform bzw. der SIEM Kanal.

Nun ist es so, daß aufgrund der Digitalisierung, einzelne Komponenten, wie z.B. die Anlagenkontrollstation SOC, wie in Abbildung 1, ausgelagert werden könnte, wie es die 'Industrie4.0 Plattform' (s. VDE ETZ Dokument [DIN NA043-01-41AA N0764]) zwar vorsieht, jedoch im CSlang Modell, nur im Format eines <tuples>space, geschehen kann. Ein großes Industrie-Unternehmen könnte entscheiden, daß die Anlagenkontrolle, z.B. in der Autoindustrie, von einem zentralen Server aus, vorgenommen wird. Dazu benötigt man lediglich eine allgemeine digitale Schnittstelle zwischen den einzelnen Anlagen, ein Gateway etwa, das über das 'Internetz' (ICT) die lokalen Anlagen mit dem zentralen Server verbindet. Und schon hat das globale Unternehmen Zugriff auf die örtlichen Anlagensteuerung. Die notwendigen Daten werden dezentral erhoben und zentral verarbeitet, was eine Herausforderung für 'Security & Privacy' für das Management in globalen Unternehmen darstellt.

CSlang hält dafür ein werkzeuggestütztes Simulationsmodell, auf der Basis von Graph-Manipulationswerkzeugen z.B. GraGra der TUB [AGG17] und GrGen.NET des KIT IPD [GrGen10], bereit. Darin werden Informationen in einem IACS als Graph dargestellt. Der modellierte Graph repräsentiert also einen bestimmten IACS Zustand. Eine Zustandsänderung bedeutet eine Veränderungen der Informationen über die Komponenten eines IAC Systems, z.B. kann sich, in einem Energieversorgungsnetzwerk, bei Veränderung des Wetters (mit Indikatoren für Wind,

Sonneneinstrahlung, Tageszeit etc.) auch die Konfiguration (Zustand) der Energieerzeugungskomponenten verändern, sie können hinzu oder abgeschaltet werden. Die Informationen sind ADTs die als Ereignis<tuples> dem SIEM Kanal entnommen werden.

Der CSlang Ansatz ist semiformal, weil er das Modell einer ereignisorientierten, technischen Kommunikationsplattform (SIEM) mit formalen Ansätzen wie algebraische ADT [Mos04], [EhMa84] und Graph Theorien [AGG17], [GrGen10] etc. miteinander kombiniert. Damit erübrigt sich der Zwang zu einer vollständige Formalisierung eines zu analysierenden IACS und Designer und Betreiber können sich auf wesentliche Fragen, wie z.B. auf eine vorausschauende Simulation der Folgen einer Konfigurationsveränderung in komplexen, Systemen konzentrieren.

Weiterhin können die gerade in der Normung weitverbreiteten Tabellen zur Beschreibung von Maßnahmen oder Systemeigenschaften sehr gut mittels ADTs formal dargestellt werden. Ein ADT ist sozusagen die semantische Hülle für ein <n-tuple> im technischen SIEM Kanal.

Im Rahmen eines Normungsprojektes einer Industriellen Spezifikationsgruppe für Sicherheitsindikatoren (ISG ISI) [ETSI06] u.a. ausgeführt im Rahmen der Industriellen Vereinigung Club R2GS EU [R2GS] mit Sitz in Paris, ist es das erklärte Ziel, mit interessierten industriellen Partnern einen CSlang Prototypen, gestützt auf graphverarbeitende semantische Werkzeuge und Abstrakten Datentypen, zu realisieren und in der Standardisierung von IT/Cyber Security anzuwenden und damit zu simulierbaren, bzw. validierbaren Aussagen und Richtlinien in der Normung zu gelangen.

Literaturverzeichnis

[Adol15] P. Adolphs: RAMI4.0 - An Architectural Model for Industrie4.0, DIN Berlin, 18.6.2015

[AGG17] The Attributed Graph Grammar Werkzeug, Version 2.1(2017) der TU Berlin: http://www.user.tu-berlin.de/o.runge/agg/

[BMBF13] Acatech, Forschungsunion: Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0 - Abschlußbericht des AK Industrie4.0, BMBF April 2013

[BMWE16] BM f. Wirtschaft und Energie: IT-Sicherheit für die Industrie4.0; Abschlußbericht zur Studie im Auftrag des BMWE, Januar 2016

[BoMo79] Robert S. Boyer, J. Strother Moore: A Computational Logic, ACM Monograph Series, Editor Thomas A. Standish, UoC at Irving, Academic Press 1979

[CIS17] CISCO(2017): http://www.ciscopress.com/articles/article.asp?p=1181682&seqNum=8

[EhMa85] H.Ehrig, B.Mahr: Fundamentals of Algebraic Specification 1/2, EATS Monographs on Theoretical Computer Science, Springer-Verlag 1985.

[ETSI01] ETSI GS ISI 001-1/2 Information Security Indicators (ISI) –

Indicators (INC) Part 1 Revision 1 FDA v0.0.3 Gerard Gaudin Rapporteur) „A full set of Operational Indicators for Organizations to use to benchmark their security posture“

ISI INC Part 2 „Guide to select Operational Indicators based on the full set given in INC part 1“

[ETSI02] ETSI GS ISI 002 Information Security Indicators (ISI) – Security Event Model (SEM) „A Security Event Classification Model and Taxonomy“

[ETSI06] ETSI GS ISI 006 (WD v0.0.6, Jan deMeer Rapporteur) Information Security Indicators (ISI) - An ISI-compliant Measurement and Event Management Arichtecture for Cyber Security & Safety - CSlang A Cyber Security Specification Language.

[GrGen10] Karlsruhe Institut für Technologie IPD Inst. f. Programmierparadigmen: GrGen.NET Graphtransformationswerkzeug https://svn.ipd.kit.edu/trac/mx/wiki/Tools/GrGen.NET

[HeKn11] C.Hertneck, R.Kneuper: Prozesse verbessern mit *CMMI for Services*, dpunk.verlag Heidelberg 2011

[Hoff15] M. Hoffmeister, Festo AG&Co.KG: ZVEI The Industrie4.0 Component, Version 1.0 April 2015

[IEC15a] IEC 62443-3-3:2013 Security for Industrial Automation and Control Systems part3-3: System Security Requirements and Security Levels (ANSI/ISA 62443-3-3 (99.03.03))

[IEC15b] IEC 62443-4-2 Ed.1 Security for Industrial Automation and Control Systems (IACS) part 4-2: Technical Requirements for IACS Components (IEC/TC57/WG15, SCA45A/WGA9, ISO/IEC JTC1/SC27/WG3 N1178 (2015-07 --- IT ST - Security Evaluation, Testing and Specification), https://webstore.iec.ch/preview/info_iec62443-2-4%7Bed1.0%7Db.pdf)

[IEC15c] IEC 2015 NP 62443-3-2 - 65/611/NP - Security for Industrial Automation and Control Systems - Part 3-2: Security Risk Assessment and System Design

[IS04-04] DIN ISO/IEC 15504-1:2004 IT Process Assessment part1 - Concepts and Vacabulary;

[IS08-15] ISO/IEC WD19608:2015-07-08] ISO/IEC JTC1 SC27 WG3 N1193: IT ST Guidance for Developing Security and Privacy Functional Requirements based on ISO/IEC 15408

[IS07-08] ISO/IEC 12207:2008 System und Software Engineering – Software Lebenszyklus Prozesse, https://www.iso.org/standard/43447.html

[JLi16] Jochen Link Vortrag: 'IEC TC65-WG20 Management Systems and Differences - Gegenüberstellung der Grundlagen', (Folien 2-6) Okt. 2016;

[JLi14] Jochen Link Vortrag: 'Grundlagen zu Produktentwicklung, Industrie 4.0, Vernetzung und Umsetzung', (Tabellen) Dez. 2014;

[Mos04] Peter D.Mosses (Editor): CASL Reference Manual - The Complete Documentation of the Common Algebraic Specification Language, LNCS Springer Verlag 2004.

[NWL15] Networklab(2015): Dynamic Address Resolution Protocol (ARP) Inspection (DAI): http://www.nwlab.net/know-how/Cisco/dynamic-arp-inspection.html;

[ReGa16] Axel Rennoch FhG FOKUS, Gerard Gaudin ETSI ISG ISI: Information Security Indicators Quick Reference Card (updated2016-01); https://sites.google.com/site/axelrennoch/specialities/security/isiQRC.pdf https://en.wikipedia.org/wiki/Information_security_indicators

[ReGa13] Axel Rennoch FhG-FOKUS, Gerard Gaudin G²C, ETSI ISG ISI: 'Security Indicators Quick Reference Card v1.1.1:2013', https://cdn1.scrivito.com/fokus/e492943d2f291a76/4905070bb7ea30262ddf855393d14e21/SQC_Download_Etsi_isiQRC1.pdf

[R2GS] http://www.net1901.org/association/CLUB-DE-REFLEXION-ET-DE-RECHERCHE-EN-GESTION-OPERATIONNELLE-DE-LA-SECURITE-CLUB-R2GS,526423.html

[SLAMM16] JTC1/SC38 N1453: 2nd CD 19086-2 IT-ClC-SLA Framework - p2 Metric Model (2016-12-06)

[SCMM16] ISO/IEC JTC1/WG11 N0156 (Convener Yicheng Zhou): CD 37153-p1/p2:2016 *Smart City Maturity Model* part 1 Introduction; part 2 Principal Contents and Project Situation;

[SCII16] JTC1 WG11 N0107 WD 30146:2016 (Convener Tangli Liu): *Smart City ICT Indicators*;

[SIEMa15] ISO/IEC JTC1 SC27 WG4 N909: ToR SP Future SIEM - Terms of Reference for a 6-month Study Period on SIEM Realignment with current developments and processes (2015-05-11)

[SIEMb15] ISO/IEC JTC1/SC27/WG4 N735 (2015-01-26) 5th WD27044 Guidelines for Security Information and Event Management (SIEM)

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 1015

Semi-Formal Representation and Evaluation of Security Properties

Xinxin Lou[1], Ines Ben Zid[2], Mithil Parekh[3] and Yuan Gao[4]

Abstract: In life-critical and safety-critical systems, one small fault can lead to huge financial and personal damages. How to reduce system failure is an important question for engineers. After the software crisis, formal methods were proposed, which have been proved to effectively reduce the risk of failure. However, the formal method is somehow not as popular as expected, because it is not easy to master, and furthermore, lacks sufficient tools to support this method. In contrast, semi-formal method as a model-driven way is widely used in industry. In this paper, we attempt to apply an application of the semi-formal method to reduce security vulnerabilities of industrial systems. Furthermore, using CSlang, different Information Security Indicators (ISI) can be represented for Industrial Automation and Control Systems (IACS).

Keywords: Semi-formal method, CSlang, cyber security, formal method

1 Introduction

Formal method(s) (FM) originated from the "*software crisis*" in 1960s [CN17]. According to [BB99], [HK91], FM has unambiguous features and semantics advantages. However, since it is too complex for engineers without a mathematical background, and it costs higher when compared with using non-FM methods on developing small systems, thus, it is not popular. Currently, as a representation of a semi-formal method, UML (Unified Modeling Language) is widely accepted and used. However, it is not sufficient to capture the detailed software behaviors, e.g. variable and attribute assignments, operation calls, transition effects, etc. [DMM15]. As [CDV13] indicated, in the past, Industrial Automation and Control Systems (IACS) were mainly conceived as isolated systems, but in the Industry 4.0 age, the isolation is often not or not sufficiently enforced and goes along with drawback, e.g. with regard to predictive maintenance. Even air gaps, which are considered as an effective method against some types of attacks, are no longer sufficiently reliable, especially after Advanced Persistent Threats (APT) happened, like the targeted Stuxnet. This paper considers a novel idea on applying the semi-formal method CSlang (Common Specification Language for Cyber Security) as a specification and modeling

[1] Bielefeld University, Faculty of Technology, Universitätsstraße 25, 33615, Bielefeld, xlou@techfak.uni-bielefeld.de
[2] Bielefeld University, Faculty of Technology, Universitätsstraße 25, 33615, Bielefeld, ibenzid@techfak.uni-bielefeld.de
[3] Otto-von-Guericke-Universität, Faculty of Computer Science, Universitätspl. 2, 39106, Magdeburg, mithil.parekh@ovgu.de
[4] Otto-von-Guericke-Universität, Faculty of Computer Science, Universitätspl. 2, 39106, Magdeburg, yuan.gao@ovgu.de

doi:10.18420/in2017_103

approach to validate Security, Privacy and Safety (SPS) capabilities and constraints, especially for IACS.

2 Automation Markup Language

For cyber security, the description of controls can be planned according to a general standard, e.g. ISO/IEC 27002:2013 and refined by considering domain-specific guidance. Using AML (AutomationML), a DBSy (Domain Based Security) approach for business domains and infrastructure islands can be derived and the necessary countermeasures can be clearly described (as prose) for an IACS architecture [WA2015]. Similarly, a Security Levels and Security Zones architecture can be derived, in line with IEC 62443-x-x.

The primary purpose of AML is to integrate process data and automation data for cost reduction in the context of smart manufacturing [IE14]. However, this new and integrated description of industrial system can also be used effectively and efficiently as a basis to perform security analyses. While representing an IACS architecture in AML, different methodologies can be pursued to ensure that all security controls are applied at the right place (asset or supporting asset) and at the right level of detail. Furthermore, it gives recommendations for CSMS (Cyber Security Management Systems) [IE21] and and can be enhanced by valuable inputs from normative committees, e.g. IEC TC65 and ISO/IEC JTC1/SC27 WG4. Using AML, functional security requirements can be derived effectively with an appropriate hierarchy of abstraction levels. Details of automation systems and subsystems, hardware components, interconnection of components, application software, etc. should all be represented formally or at least semi-formally as a basis for better cyber security analyses during the products development phase and during the systems engineering. Hence, AutomationML helps to represent different security properties of IACS and by its main advantage, stores them in a well-defined and extendable data format [IE14].

3 CSlang

CSlang is a semi-formal specification and modeling approach with the purpose to validate SPS (Security, Privacy and Safety) capabilities and constraints imposed by Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) platforms. Both, the risk assessment and the forensics investigation work either on a static system specification in its design phase or on a static snapshot of the system. Compared to this, a Security Information and Event Management (SIEM) system takes the responsibilities to handle the dynamically generated security artefacts of a SCADA system [GPB16] that are either needed for monitoring, security incident management or subsequent forensic investigations. An approach considered in CSlang, is a standard incident classification scheme, which is based on an Information Security Indicators (ISI) – 001 standard [GM17].

A use case here is an application of CSlang on a security control level specification. Auditing and mitigating of risks in an Application Security Management Process (ASMP) is based on using the Application Security Controls (ASC) concept [ISIE16]. At this stage, all significant (risk assessment relevant) contexts are simply enumerated by specifying the requirements of the application security. The descriptions are written in a more standardized and comprehensive way that further helps to interpret complex text passages in a consistent, unique and comparable way. For example, according to the Application Security Controls principle promoted by ISO/IEC 27034-x, it provides explicit indications on how "Verification" and "Validation" in ASMP are correctly "interpreted".

CSlang, which is currently under development, will allow the expression of operations and attributes on sets of Application Security Controls. It will make use of the features that are already supported by ASCs, like the specification of links between ASCs and the specification of Complex ASCs (parent ASCs that contain several child ASCs, e.g. an access control parent ASC that contains an iris scanner, a smart-card reader and a device for entering a pin code). These operations on ASCs, expressed with CSlang, will allow the expression of statements that are planned (e.g. planned automated or manual validation activities associated to a specific ASC during the ASC lifecycle) or that have been confirmed (e.g. after successful completion of security tests for selected supporting assets). While this can be manually performed, dedicated tools will be needed with regard to scalability.

4 Conclusion

In this paper, we introduced the advantages and drawbacks of formal methods (FM), and justified the use of semi-formal methods for Industrial Automation and Control applications. As a potential approach, the semi-formal representation based on AutomationML (AML) and its extension by Application Security Controls (ASCs) was outlined. Finally, the idea of using CSlang on IACS security context was introduced.

AML specifications are well suited for the comprehensive representation of assets and supporting assets and Application Security Controls are the first choice in the set of ISO/IEC 270xx aligned standards for the representation of security countermeasures. CSlang is the missing part that may provide a means for semi-formally expressing the logic related to cyber security related operations and attributes, for calculating metrics and for providing hint of weaknesses in prioritized paths of complex attack trees. This is needed to perform tool based assessments, a topic that will be investigated in future work, together with further university partners.

References

[BB99] Behm P, Benoit P, Faivre A, et al. METEOR: A successful application of B in a large project[C]//International Symposium on Formal Methods. Springer Berlin Heidelberg, 1999: 369-387.

[CDV13] Cheminod M, Durante L, Valenzano A. Review of security issues in industrial networks [J]. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 2013, 9(1): 277-293.

[CN17] Computer Notes, http://ecomputernotes.com/software-engineering/software-crisis, accessed on 30.05.2017.

[DMM15] Mouheb D, Debbabi M, Pourzandi M, et al. Unified Modeling Language [M]//Aspect-Oriented Security Hardening of UML Design Models. Springer International Publishing, 2015: 11-22. P19-20.

[GM17] Gaudin Gerard, Meer Jan. ETSI GS ISI 006: Introduction into CSlang - A Cyber Security Specification Language of the Industrial Specification Group ETSI ISG ISI (draft), 2017.

[GPB16] Gao Y, Xie X, Parekh M, Bajramovic E, "SIEM: Policy-based monitoring of SCADA systems", Klagenfurt, 2016.

[HK91] Houston I, King S. CICS project report experiences and results from the use of Z in IBM[C]//VDM'91 Formal Software Development Methods. Springer Berlin/Heidelberg, 1991: 588-596.

[IE14] IEC 62714-1:2014: Engineering data exchange format for use in industrial automation systems engineering – Automation markup language – Part 1: Architecture and general requirements.

[IE21] IEC 62443-2-1:2010-11: Industrial communication networks – Network and system security – Part 2-1: Establishing an industrial automation and control system security program.

[ISIE16] ISO/IEC DIS 27034-3 2016-11: Information technology — Security techniques — Application security — Part 3: Application security management process.

RuT2017 – Recht und Technik: Datenschutz im Diskurs

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 1021

Recht und Technik: Datenschutz im Diskurs

Christoph Sorge[1], Indra Spiecker gen. Döhmann[2], Rüdiger Grimm[3]

Datenschutz und IT-Sicherheit sind längst im Zentrum der öffentlichen Aufmerksamkeit angekommen. Sowohl in der Politik und im medialen Alltag, als auch in der Wissenschaft wird der „Strukturwandel des Privaten“ beobachtet, kommentiert, beschworen oder vor ihm gewarnt. Kein Zweifel jedenfalls, dass der „digitale Wandel“ umwälzend stattfindet, und dass die großen Chancen auf Lebensverbesserungen einhergehen mit dem Risiko einer Abhängigkeit von einer Informationstechnik, die wir nicht ausreichend beherrschen. Der Verlust der Privatheit durch zunehmende Beobachtung und Auswertung unserer elektronischen Spuren ist dabei ein Risiko besonderer Art. Nur Datenenthaltsamkeit zu predigen, ist keine Lösung, da zum modernen Leben eine fruchtbare und unbefangene Kommunikation gehört.

Die Ausgestaltung einer privatheitsfreundlichen Kommunikationsinfrastruktur und -kultur ist eine große Aufgabe, die keineswegs nur technisch-informatischer Art ist. Vielmehr sind juristische, psychologische, kommunikationswissenschaftliche, ökonomische, politische und gesellschaftliche Aspekte mit zu berücksichtigen, und damit sind noch gar nicht alle Disziplinen aufgezählt, die hier mitzugestalten haben. Für den Workshop „Recht und Technik“ treffen sich in Chemnitz Wissenschaftler aus den Fachbieten Recht und Informatik nach den Vorgängerworshops in Koblenz, Stuttgart und Klagenfurt zum vierten Mal auf einer Jahrestagung der GI, um gemeinsam an Fragen zu arbeiten, wie Datenschutz und IT-Sicherheit verbessert werden können. Dazu gehören einerseits ein technikorientiertes Verständnis der Gefahrenlagen und die Entwicklung technikbasierter Lösungsmöglichkeiten auf der Basis der Wertungen des Datenschutzrechts. Andererseits muss auch die Auslegung der Rechtsnormen des Datenschutzes mit der gesellschaftlichen und technischen Entwicklung Schritt halten.

Ein wesentliches Ziel des Workshops ist es, den wissenschaftlichen Austausch zwischen beiden Disziplinen zu intensivieren. Alle Beiträge bieten das Potential zum interdisziplinären Diskurs, wobei sie jeweils ihre disziplinären Schwerpunkt beibehalten.

Den insgesamt elf Einreichungen wurden jeweils drei unabhängige Mitglieder des Programmkomitees als Gutachter zugewiesen. Im Fall eindeutiger, übereinstimmender Voten wurde eine Entscheidung auch bereits aufgrund von zwei Gutachten getroffen; umgekehrt

[1] Universität des Saarlandes, Institut für Rechtsinformatik und CISPA, christoph.sorge@uni-saarland.de
[2] Goethe-Universität Frankfurt, spiecker@jur.uni-frankfurt.de
[3] Universität Koblenz-Landau und Fraunhofer SIT, Darmstadt, grimm@uni-koblenz.de

doi:10.18420/in2017_104

sind auch Beiträge vierfach begutachtet worden. Die Vorsitzenden des Programmkomitees haben alle Beiträge eingesehen und abgewogen. Bei der Auswahl haben wir uns nicht von einer Quote leiten lassen, sondern alle Beiträge von hoher Qualität, die eine inhaltliche Perspektive bieten, angenommen.

Die sechs angenommenen Beiträge lassen sich in zwei Bereiche einteilen: Dem Bereich der *datenschutzrechtlichen Analysen von Anwendungen* lassen sich die Beiträge von *Marnau (Die Blockchain im Spannungsfeld der Grundsätze der Datenschutzgrundverordnung)*, *Berkemeier et al. (Datenschutzrechtliche Anforderungen an Smart Glasses-basierende Informationssysteme in der Logistik)* und *Maass et al. (PrivacyScore: Analyse von Webseiten auf Sicherheits- und Privatheitsprobleme – Konzept und rechtliche Zulässigkeit)* zuordnen. Zum Bereich der *datenschutzfreundlichen Gestaltung von Anwendungen* gehören die Beiträge von *Alpers et al. (Herausforderungen bei der Entwicklung von Anwendungen zum Selbstdatenschutz)*, *Matzutt et al. (myneData: Towards a Trusted and Use-controlled Ecosystem for Sharing Personal Data)* und *Stach et al. (PATRON – Datenschutz in Datenstromverarbeitungssystemen)*.

Die Organisatoren bedanken sich bei allen Autoren für die Einreichung hochwertiger Beiträge. Darüber hinaus gilt unser Dank den Gutachtern, die sich binnen kurzer Frist ausführlich mit den Einreichungen auseinandergesetzt und wohlbegründete Stellungnahmen abgegeben haben. Ohne ihre Unterstützung wäre der Workshop nicht möglich geworden.

Programmkomitee

Vorsitz: Prof. Dr. Christoph Sorge, Universität des Saarlandes; Prof. Dr. Rüdiger Grimm, Universität Koblenz-Landau und Fraunhofer SIT, Darmstadt; Prof. Dr. Indra Spiecker genannt Döhmann, Goethe-Universität Frankfurt

Weitere Mitglieder:

- Prof. Dr. Matthias Bäcker, KIT
- Prof. Dr. Jens-Matthias Bohli, Hochschule Mannheim
- Dr. Thomas Bräuchle, Karlsruhe
- Dr. Katharina Bräunlich, Universität Koblenz-Landau
- Prof. Dr. Nils Gruschka, Fachhochschule Kiel
- Prof. Christoph Gusy, Universität Bielefeld
- Marit Hansen, Landesbeauftragte für den Datenschutz Schleswig-Holstein
- Niko Härting, Rechtsanwalt
- Michael Herfert, Fraunhofer SIT, Darmstadt

- Prof. Dr. Gerrit Hornung, Universität Kassel
- Dr. Walter Hötzendorfer, Universität Wien
- Thomas Kahler, Datenschutzbeauftragter DiBA
- Dr. Thomas Kehr, Dornbach GmbH Rechtsanwaltsgesellschaft
- Dr. Thomas Lapp, Rechtsanwalt, IT-Kanzlei Dr. Lapp
- Prof. Dr. Kai von Lewinski, Universität Passau
- Dr. Mario Lischka, DZ Bank
- Dr. Ronald Petrlic, Referent beim Landesbeauftragten für den Datenschutz Baden-Württemberg
- Dr. Philipp Richter, Universität Kassel
- Prof. Dr. Burkhard Schafer, Universität Edinburgh
- Prof. Dr. Juergen Taeger, Universität Oldenburg

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 1025

Die Blockchain im Spannungsfeld der Grundsätze der Datenschutzgrundverordnung

Ninja Marnau[1]

Abstract: Blockchain-Technologie und auf ihr basierende Smart Contracts erfahren aktuell große Aufmerksamkeit. Egal ob Finanztransaktionen, eHealth oder eGovernment, für zahlreiche Anwendungsfelder wird der Einsatz von Blockchain-Technologie in Betracht gezogen. In jüngster Zeit mehren sich jedoch auch kritische Stimmen, die die kryptographischen und Konsens-Prinzipien dieser Technologie für unvereinbar mit der Verarbeitung personenbezogener Daten und somit den Grundsätzen des Datenschutzrechts halten. Ziel dieses Beitrags ist es, die Eignung verschiedener Blockchain-Technologien für die Erfüllung der Grundsätze für die Verarbeitung personenbezogener Daten gemäß Artikel 5 der EU Datenschutzgrundverordnung wie u.a. Rechenschaftspflicht, Speicherbegrenzung und Betroffenenrechten zu analysieren.

Keywords: Blockchain, Redactable Blockchain, Privacy, Datenschutz, DSGVO, Transparenz, Rechenschaftspflicht, Speicherbegrenzung, immutability, right to be forgotten, distributed ledger, distributed consensus

1 Einleitung

Die Blockchain-Technologie erlebt aktuell einen Hype, ähnlich wie vor einigen Jahren das Cloud-Computing. Blockchain-Technologie soll Datenspeicherung und Transaktionswesen revolutionieren und wird nicht nur für eine Vielzahl von Anwendungsfeldern der Datenverarbeitung vorgeschlagen, sondern durch Unternehmen und staatliche Stellen bereits in ersten Testfeldern eingesetzt. Start-Ups, die Blockchain-Lösungen anbieten, haben bereits mehr als 1,5 Billionen US Dollar an Venture Capital erhalten [Cd17]. Die Diskussion darüber, ob und unter welchen Voraussetzungen die Blockchain und ihre Charakteristika mit den Anforderungen des europäischen Datenschutzrechts vereinbar ist, hat jedoch gerade erst begonnen.[2]

Blockchain-Technologie und insbesondere die darauf beruhende Währung Bitcoin ermöglichen es, dass sich gegenseitig nicht vertrauende Parteien (Finanz-)Transaktionen durchführen und diese transparent und integer speichern, ohne einen zentralen, vertrauenswürden Treuhänder oder Vermittler einzubinden. Die von Nakamoto [Na09] vorgestellte Technologie gab dabei erstmals kryptographische Garantien, die die doppelte

[1] Center for IT-Security, Privacy and Accountability (CISPA), Saarland Informatics Campus, Universität des Saarlandes, Campus E 9.1, 66123 Saarbrücken, marnau@cispa.saarland

[2] So forderte der EDPS in seinem Newsletter von Oktober 2016: „It is essential that data protection experts begin to examine the concepts behind blockchain technology and how it is implemented in order to better understand how data protection principles can be applied to it" [ED16].

doi:10.18420/in2017_105

Ausgabe von Währungseinheiten wirksam verhinderte und somit die tatsächliche Nutzung der Währung Bitcoin als Zahlungsmittel ermöglichte.

Der wirtschaftliche Erfolg der „Krypto-Währung" Bitcoin brachte der Blockchain-Technologie globale Aufmerksamkeit. Die rechtswissenschaftliche Diskussion um die zivil- und finanzaufsichtsrechtliche Bewertung von Bitcoin und Bitcoin-Transaktionen[3] ist daher bereits weiter fortgeschritten als die datenschutzrechtliche.

Die oben genannten Eigenschaften machen die Technologie neben Finanztransaktionen jedoch für eine Vielzahl von weiteren Anwendungsfeldern attraktiv: z.B. verteilte Datenspeicherung in der Cloud, verteilte Datenverarbeitung im Internet der Dinge, Speicherung und Weitergabe von Gesundheitsdaten, Datenverarbeitung innerhalb einer Lieferkette.[4] Durch den Einsatz von Blockchain-Technologie für Smart Contracts ließen sich prinzipiell beliebige Vertragsbeziehungen in der Blockchain darstellen und beim Eintreten von Vertragsbedingungen automatisch ausführen.[5]

Dieser Beitrag konzentriert sich darauf, die der Blockchain-Technologie immanenten Charakteristika dahingehend zu analysieren, ob sie gegebenenfalls mit Prinzipien und Anforderungen des Datenschutzrechts im Konflikt stehen und ob der Einsatz verschiedener Arten der Blockchain zur Verarbeitung personenbezogener Daten ratsam im Hinblick auf datenschutzrechtliche Compliance und dementsprechenden Rechenschaftspflichten ist.

2 Charakteristika der Blockchain-Technologie und ihr Verhältnis zu den Datenschutzgrundsätzen der DSGVO

Die wesentlichen Innovationen der Blockchain sind die unveränderbare Speicherung von Daten (immutability), die dezentrale, verteilte Registerführung (distributed ledger) und die Entscheidungsfindung per Mehrparteienkonsens (peer-to-peer consensus protocol). Diese Charakteristika werden im Folgenden detailliert dargestellt und mit den relevanten Grundsätzen für die Verarbeitung personenbezogener Daten gemäß Art. 5 DSGVO abgeglichen.

Blockchains werden durch ein peer-to-peer Netzwerk von Teilnehmern (Nodes) geführt. In der offenen und dezentralen Grundform der Blockchain („Permissionless Blockchain") speichert und verarbeitet jeder Teilnehmer in diesem Netzwerk eine eigene Kopie der Blockchain. Da alle Teilnehmer gleiche Befugnisse im Hinblick auf die Blockchain haben, spricht man von dezentraler, verteilter Registerführung.

Sobald das Netzwerk eine Mehrheitsentscheidung über das Hinzufügen eines neuen

[3] Mit weiteren Nachweisen [EK14] zur zivilrechtlichen Einordnung; [Le15] zur finanzaufsichtsrechtlichen Einordnung.
[4] Zur technischen Eignung von Blockchain-Technologie für die diskutierten Anwendungsfelder siehe [WG17].
[5] Zur rechtlichen Analyse von Smart Contracts und dem Einsatz von Blockchain-Technologie siehe [KH16].

Blocks trifft, werden alle Kopien um diesen Block ergänzt. Konflikte durch nicht aktualisierte Kopien im Netzwerk werden dadurch gelöst, dass immer die längste valide Blockchain die gültige ist.

In Abgrenzung zu dieser offenen, dezentralen Grundform der Blockchain wurden sog. „Permissioned Blockchains" eingeführt[6], die ihr Netzwerk von Teilnehmern nur auf einen bestimmten Kreis von Berechtigten beschränken. Bei dieser Art der Blockchain-Nutzung gibt es eine zentrale Stelle, die die Teilnehmer des Netzwerks festlegt und ihnen Lese- und gegebenenfalls Schreibrechte einräumt. Dies erlaubt den Einsatz von Blockchain-Technologie z.B. innerhalb einer Unternehmensgruppe, um dort Transaktionen zwischen Tochterfirmen nachvollziehen zu können. Die zentrale Stelle kann hierbei einer Untergruppe auch lediglich Lese- aber keine Schreibrechte geben.

Grundsätzlich ist im Hinblick auf eine Bewertung der Blockchain-Technologie und ihrer Eignung zur Erfüllung der Datenschutzgrundsätze aus Art. 5 DSGVO zu beachten, dass diese den Charakter von strukturellen Prinzipien[7] haben und untereinander durchaus in einem Zielkonflikt stehen können[8]. Verschiedene Kriterien, die sich eher auf rechtlichen Erlaubnistatbestand für den Verantwortlichen und die vertragliche Ausgestaltung des Verhältnisses zum Betroffenen beziehen, können nur anhand des konkreten Einzelfalls aber nicht für die Technologie generell geprüft werden und müssen daher außer Acht bleiben: Rechtmäßigkeit sowie Verarbeitung nach Treu und Glauben (in der Tabelle 1 n/a markiert).

2.1 Transparenz (Art. 5 Abs. 1 lit. a Var. 3 DSGVO)

Die dezentrale und verteilte Registerführung führt zu maximaler technischer Transparenz des Systems. Jeder Teilnehmer besitzt eine gleichberechtigte Kopie und kann anhand von dieser jede vergangene Transaktion oder jeden Datenverarbeitungsschritt nachvollziehen und überprüfen. Durch die dezentrale Speicherung und Änderung nur mit dem Mehrheitskonsens ist eine manipulierte Datenverarbeitung einzelner böswilliger Teilnehmer kaum möglich. Je mehr Teilnehmer das Netzwerk hat, desto unwahrscheinlicher ist das Zusammenwirken einer Mehrheit der Teilnehmer.

Sofern die Teilnehmer selbst eine Transaktion beauftragen oder empfangen, z.B. im Rahmen einer Bitcoin-Transaktion, sind sie selbst Betroffene einer Datenverarbeitung. Sobald die Transaktion mit dem Pseudonym (Bitcoin Wallet) von Sender und Empfänger durch einen Teilnehmer des Netzwerks einem validen Block hinzugefügt wurde und dieser

[6] Die am Weitesten verbreiteten Permissioned Blockchains sind laut [WG17] Hyperledger Fabric (https://hyperledger-fabric.readthedocs.io/en/latest/ abgerufen am 23. Mai 2017) und R3 Corda [He16].

[7] Die Grundsätze werden jeweils durch Einzelnormen der DSGVO konkretisiert, verlangen aber als Prinzipien durch den Verantwortlichen und dessen Datenverarbeitung größtmögliche, kumulative Entsprechung aller Grundsätze, siehe auch Kommentierung Heberlein, Art. 5, Rn. 5 in [ES17].

[8] So stehen z.B. traditionell die Grundsätze Transparenz und Vertraulichkeit oder Speicherbegrenzung und Integrität in einem Zielkonflikt, der für jede einzelne Datenverarbeitung abgewogen werden muss, siehe dazu schon im Vorwege der DSGVO [RB11].

durch Mehrheitskonsens an die Blockchain angefügt wird, ist die Transaktion für die Betroffenen und jeden anderen Teilnehmer ersichtlich und damit vollständig transparent.[9] Die Adresse des Bitcoin-Wallets ist aufgrund ihrer Verknüpfung mit einer IP-Adresse regelmäßig nicht anonym, sondern stellt ein Pseudonym dar[10], falls nicht zusätzlich noch Coin-Mixing Werkzeuge verwendet werden, die die Identität und Historie einzelner Teilnehmer verschleiern.

Sofern mit Blockchain-Technologie personenbezogene Daten verarbeitet werden von Betroffenen, die nicht Endpunkt der Transaktion oder Teilnehmer des Netzwerks sind, muss Transparenz auf andere Weise garantiert werden: z.B. im Rahmen von Einwilligungs- oder Datenschutzerklärung, Informationspflichten und Auskunftgabe durch den Verantwortlichen.[11]

2.2 Zweckbindung (Art. 5 Abs. 1 lit. b DSGVO)

Personenbezogene Daten dürfen nach dem Grundsatz der Zweckbindung nur für festgelegte, eindeutige und rechtmäßige Zwecke erhoben und in einer mit dem ursprünglichen Zweck zu vereinbarenden Weise weiterverarbeitet werden. Die Blockchain ist dabei weitgehend davon abhängig, dass die durch den Verantwortlichen zur Verarbeitung und Speicherung eingegebenen Daten bereits dem Grundsatz der Zweckbindung entsprechen. Bei der Berechnung der Blöcke und Speicherung in der Blockchain handelt es sich nicht um eine Zweckänderung, da der Verantwortliche bei der Erhebung und der Bekanntgabe der Transaktion gegenüber dem Netzwerk gerade diese Art der Verarbeitung und Speicherung beabsichtigte. Aufgrund der öffentlichen Verfügbarkeit der Daten sind sie jedoch im besonderen Maße dem Risiko einer zweckändernden Weiterverarbeitung durch Dritte ausgesetzt. [12]

2.3 Datenminimierung (Art. 5 Abs. 1 lit. c DSGVO)

Die DSGVO gibt vor, dass die Menge der Daten für den jeweiligen Zweck angemessen, erheblich und auf das notwendige Maß beschränkt sein muss. Insbesondere ist durch den Verantwortlichen jeweils zu prüfen, ob auch eine Verarbeitung von anonymen Daten oder jedenfalls pseudonymisierten Daten ausreichend ist. Im Falle von Bitcoin agieren die Teilnehmer des Netzwerks jeweils unter einem Pseudonym. Die gespeicherte Transaktion selbst ist auf das notwendige Maß zur Durchführung und des Nachweises der Transaktion beschränkt. Problematisch ist, dass theoretisch beliebiger (auch personenbezogener) weiterer Inhalt Teil eines Blocks werden kann. Hier ist jeweils der Auftraggeber der

[9] [Ho17] begründet für das Beispiel von Bitcoin-Transaktionen warum diese als Verarbeitung zur Erfüllung eigener Geschäftszwecke sowohl für Sender und Empfänger als auch für den Plattformanbieter nach § 28 Abs. 1 Satz 1 Nr. BDSG erlaubt seien.

[10] So auch [SK13] und [Ho17].

[11] Die Transparenzanforderungen werden in Art. 12 bis Art. 15 DSGVO weiter konkretisiert.

[12] Im Hinblick auf die Zulässigkeit einer zweckändernden Weiterverarbeitung der öffentlich verfügbaren Bitcoin-Daten nach BDSG und die Gefahr von Profiling der Teilnehmer siehe [Ho17] S. 165 f.

Transaktion oder Datenspeicherung als Verantwortlicher für die Rechtmäßigkeit verantwortlich.[13]

Fraglich ist, ob die redundante Speicherung von einer Vielzahl von Kopien dem Prinzip der Datenminimierung zuwiderläuft. Dies ist jedoch abzulehnen, da sich das Gebot der Datenminimierung auf den Informationswert der Daten und die Menge unterschiedlicher Datenpunkte bezieht, insbesondere im Hinblick auf die Gefahr von Profilbildung. Redundante Kopien zur Wahrung von Integrität oder Ausfallsicherheit sind daher als bloße Kopien derselben Datenmenge keine Verletzung des Grundsatzes.

2.4 Richtigkeit (Art. 5 Abs. 1 lit. d DSGVO)

Die Daten müssen sachlich richtig und erforderlichenfalls auf dem neuesten Stand sein. Für diesen Grundsatz ist das verteilte peer-to-peer Prinzip des Blockchain-Netzwerks durchaus förderlich. Sobald die Teilnehmer eine Mehrheitsentscheidung über das Hinzufügen eines neuen validen Blocks treffen, werden alle Kopien im Netzwerk um diesen Block ergänzt. Da jeder neue Block mit dem vorangehenden durch eine kryptographische Hash-Funktion verknüpft ist, können nur vollständige Kopien den nächsten weiteren Block anfügen. Konflikte durch nicht aktualisierte Kopien im Netzwerk werden dadurch gelöst, dass die längste valide Blockchain Gültigkeit hat. Das Netzwerk stellt so durch sein Protokoll sicher, dass alle Teilnehmer am Netzwerk eine aktuelle und insofern formal richtige Kopie der Blockchain besitzen. Teilnehmer mit einer veralteten Kopie bemerken dies dadurch, dass sie nicht mehr erfolgreich an der Berechnung neuer Blöcke teilnehmen können.

Die Aktualität der Blockchain-Daten und ihre formale Richtigkeit sagt jedoch nichts über ihre Richtigkeit im Hinblick der Betroffenenrechte auf Berichtigung oder ihre sachliche Richtigkeit aus. Hierfür ist grundsätzlich der Verantwortliche der Verarbeitung zuständig.

Eine Kerneigenschaft der Blockchain ist ihre Unveränderbarkeit (immutability). Die Blockchain speichert eine Abfolge von Transaktionen oder Datenverarbeitungsschritten in Blöcken, die je nach Vorgabe des Protokolls eine unterschiedliche Anzahl dieser Transaktionen umfassen. Diese Blöcke werden nun nach der Mehrheitsentscheidung über die Validität des Blocks der Blockchain hinzugefügt. Grundsätzlich kann ein einmal hinzugefügter Block nicht mehr entfernt oder verändert werden, da jeder neue Block mit dem vorangehenden durch eine kryptographische Hash-Funktion dauerhaft verknüpft ist. Wird ein Block verändert, müssten alle nachfolgenden Blöcke ebenfalls neu berechnet werden. Da die Erstellung eines neuen validen Blocks eine rechenintensive Operation ist, wird ein Block umso sicherer im Hinblick auf seinen dauerhaften Verbleib in der Blockchain, je mehr Folgeblöcke nach ihm kommen.

Diese beabsichtigte „Ewigkeit“ der Blöcke garantiert ein integres Archiv von

[13] Zum rechtlichen Verhältnis von Auftraggeber einer Transaktion und anderen verarbeitenden Teilnehmern des Netzwerks siehe unter 2.8.

Transaktionen oder Datenverarbeitungsschritten. Dieses Archiv steht jedem Teilnehmer der dezentralen Registerführung zur Verfügung. Ein einzelner Teilnehmer kann keine dauerhafte Änderung eines Blocks bewirken, ohne dass die anderen Teilnehmer die Veränderung bemerken und per Mehrheitsprinzip die Änderung zurückweisen können.

Diese Unveränderlichkeit steht im direkten Konflikt zu Betroffenenrechten auf Berichtigung, Löschung und dem Recht auf Vergessenwerden. Zwar besteht die Möglichkeit, in einem neuen Block Informationen oder Transaktionen in älteren Blöcken für ungültig zu erklären. Die alten unrichtigen oder zu löschenden Informationen bleiben aber vorhanden und für alle Teilnehmer lesbar. Daher entspricht diese Lösung nicht den datenschutzrechtlichen Anforderungen an die Umsetzung von Betroffenenrechten.

Um diesen Konflikt aufzulösen, wurde 2016/17 das Konzept der „redactable blockchain" vorgestellt, die eine nachträgliche Änderung alter Blöcke erlaubt, ohne dass alle nachfolgenden Blöcke ungültig werden.[14]

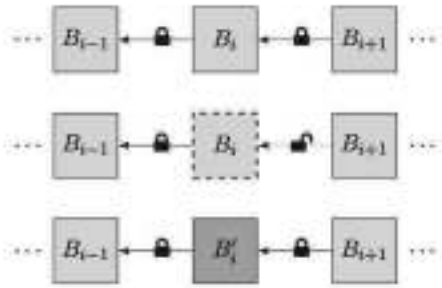


Abb. 1: Funktionsweise der Redactable Blockchain nach [At17]

Die Autoren nutzen für ihr Konzept eine Weiterentwicklung der „chameleon hash function". Die einzelnen Blöcke werden wie in Abb. 1 gezeigt mit dieser Hash-Funktion verbunden. Diese Hash-Verbindung der Blöcke lässt sich mit einem geheimen Schlüssel auftrennen, so dass der zu ändernde Block durch einen neuen ersetzt werden kann, ohne dass alle nachfolgenden Blöcke ihre Gültigkeit verlieren und neu berechnet werden müssten.

Dieser geheime Schlüssel könnte im Fall der Permissionless Blockchain so unter den Teilnehmern verteilt sein, dass nur eine Mehrheit ihn gemeinsam einsetzen könnte.[15] Im Fall der Permissioned Blockchain könnte die zentrale Stelle oder ggf. mehrere vertrauenswürdige Instanzen Inhaber des Schlüssels sein.

Die nachträgliche Veränderung eines Blocks in der Kette geschieht dabei nicht unsichtbar.

[14] [At17] haben ihr Konzept einer Redactable Blockchain zunächst 2016 online veröffentlicht und nach einer weiteren Ausarbeitung auf der Peer Review Konferenz EuroS&P2017.

[15] Bei einer Verteilung auf mehrere oder eine Vielzahl von Teilnehmern soll Secure Multiparty Computation genutzt werden.

Vielmehr hinterlässt die Bearbeitung eine „Narbe“, die für alle Teilnehmer des Netzwerks sichtbar ist. Teilnehmer, die während der Veränderung aktiv sind, könnten auch die alte Kopie gegenüber der veränderten vergleichen und die Änderung dadurch prüfen.

Dieses neue Konzept der Redactable Blockchain löst allerdings den Konflikt zwischen Blockchain-Technologie und Betroffenenrechten nur bedingt auf. Die Autoren selbst gehen davon aus, dass solche Korrektureingriffe nur selten vorgenommen werden.[16] Dies entspricht jedoch nicht der Realität der Verarbeitung personenbezogener Daten. Löschpflichten z.B. würden regelmäßig greifen. Im Hinblick auf das Recht auf Vergessenwerden erhielt Google innerhalb der ersten 12 Monate über 200.000 Anfragen, von denen 48% zu einer Löschung in der Liste der Suchergebnisse führten [Gu15]. In den Szenarien, in denen der geheime Schlüssel auf mehrere oder eine Vielzahl von Teilnehmern verteilt ist, würde das eingesetzte Secure Multiparty Computation Protokoll signifikanten Overhead von Zeit- und Rechenaufwand bedeuten. Im zentral verwalteten Szenario der Permissioned Blockchain errechneten die Autoren hingegen nur geringen Overhead bei der Erstellung der Blockchain und dem Austausch von Blöcken. Das vorgeschlagene Konzept scheint daher für den Einsatz im Rahmen einer internen Permissioned Blockchain deutlich besser geeignet, um Betroffenenrechte effektiv umzusetzen.

2.5 Speicherbegrenzung (Art. 5 Abs. 1 lit. f Var. 1)

Der Grundsatz der Speicherbegrenzung bezieht sich nur auf die zeitliche Länge der Speicherung nicht auf die Anzahl der Kopien. Daher sind das peer-to-peer Prinzip und die dezentrale Speicherung selbst zunächst kein Widerspruch zu diesem Grundsatz. Allerdings ist aus Transparenzgründen keine Löschung alter Blöcke nach Erfüllung des Verarbeitungszwecks vorgesehen. Die Währung Bitcoin bezieht ihre Vertrauenswürdigkeit unter anderem aus diesem ewigen Archiv aller Transaktionen.

Das Konzept der Redactable Blockchain erlaubt auch das Löschen oder Komprimieren mehrerer Blöcke in einer Operation. Allerdings stellt dies ebenfalls nur im Rahmen einer Permissioned Blockchain eine gangbare Lösung zur Erfüllung der Speicherbegrenzung dar, da es in einem dezentralen, verteilten Netzwerk keine Möglichkeit gäbe, alle im Umlauf befindlichen Kopien zur Löschung zu verpflichten.[17]

---

[16] Die Autoren selbst rechnen mit einer ähnlichen Häufigkeit wie von hard forks der Blockchain: „As for hard forks, we expect redactions to occur in rare and exceptional circumstances“ [At17].

[17] Dies erkennen die Autoren der redactable blockchain selbst als Nachteil. Zwar führen sie zutreffend aus, dass eine redactable blockchain nicht aufgrund ihrer Unveränderlichkeit auf Beschluss eines Gerichts komplett von einer Plattform entfernt werden könnte (z.B. kann ein Block mit kriminellem Inhalt wie Kinderpornographie auch Jahre später in einer Redactable Blockchain gelöscht werden) [At17]. Die Autoren berücksichtigen aus datenschutzrechtlicher Perspektive jedoch nicht, dass der datenschutzrechtlich Verantwortliche auch für die Löschung aller von ihm in Umlauf gebrachten Kopien haftbar sein kann.

2.6 Vertraulichkeit (Art. 5 Abs. 1 lit. f Var. 2)

In der Form der Permissionless Blockchain kann prinzipiell jeder (auch mehrfach mit verschiedenen Pseudonymen) ein Teilnehmer des Netzwerks werden. Da alle Blöcke zu Beweiszwecken allen Teilnehmern zugänglich gemacht werden, bietet diese Form der Blockchain für die Inhalte der Blöcke keine Vertraulichkeit.

Bei der Permissioned Blockchain ist die Vertraulichkeit der Informationen dadurch umrissen, dass die zentrale Stelle nur selektiv Lese-Zugriff zum Netzwerk gibt. Da der Kreis der Teilnehmer am Netzwerk bei einer Permissioned Blockchain wesentlich kleiner ist, ist die Möglichkeit zur Manipulation durch Absprachen der Teilnehmer mit Schreibrechten allerdings dementsprechend größer. Die Vertraulichkeit des Netzwerkes geht damit zu Lasten der Vertrauenswürdigkeit des peer-to-peer Prinzips beim Berechnen und Hinzufügen neuer Blöcke.[18]

2.7 Integrität (Art. 5 Abs. 1 lit. f Var. 1)

Durch das transparente Archiv und die kryptographische Verknüpfung der fortlaufenden Blöcke liefert die Blockchain-Technologie starke Integritätsgarantien. Die Integritätsgarantien beruhen dabei auf der notwendigen Rechenleistung, die ein böswilliger Akteur erbringen müsste, um die Blöcke zu manipulieren.

Jeder einzelne Teilnehmer versucht aus den im Netzwerk neu bekanntgegebenen Transaktionen valide neue Blöcke zu errechnen. Ein valider Block wird dann nach dem Konsensprinzip an die Blockchain angehängt. Da die Errechnung eines Blocks rechenintensiv ist, ist eine Manipulation eines Blocks durch einen böswilliger Akteur umso unwahrscheinlicher, je mehr Blöcke bereits an diesen angehängt worden sind. Denn der Akteur müsste auch alle folgenden Blöcke neu berechnen, da jeweils nur die längste Kette Gültigkeit hat. Je älter ein Block also ist (<5 Folgeblöcke), desto größer ist die mathematische Integritätsgarantie.

Im Hinblick auf die Redactable Blockchain gilt diese Integritätsgarantie nur für die Blöcke die erkennbar unverändert sind. Aufgrund der bleibenden Narbe in der Blockchain bei Eingriffen, ist dies jedoch im Rahmen z.B. eines Audits zu erkennen.

2.8 Rechenschaftspflicht (Art. 5 Abs. 2 DSGVO)

Die Rechenschaftspflicht umfasst, dass der für die Verarbeitung Verantwortliche für die Einhaltung der genannten Grundsätze verantwortlich ist und diese Einhaltung auch nachweisen kann.

[18] Denkbar wäre eventuell ein Szenario mit einer Vielzahl von schreibenden Teilnehmern (z.B. Sensoren von smarten Geräten) und einem nur sehr kleinen Kreis von Teilnehmern mit Leserechten, die diese Daten dann auswerten dürfen.

Im Rahmen der dezentralen, verteilten Registerführung ist es jedoch bereits schwierig festzustellen, wer der Verantwortliche ist. Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass derjenige, der die Finanztransaktion oder einen anderen Datenverarbeitungsvorgang initiiert, der Verantwortliche der Datenverarbeitung nach Art. 4 Nr. 7 DSGVO ist. Allerdings verliert dieser Verantwortliche die Kontrolle über die weitere Verarbeitung zu dem Zeitpunkt, an dem er die Transaktion dem Netzwerk mitteilt, damit sie durch Berechnung anderer Teilnehmer einem Block und dann der Blockchain hinzugefügt wird. Zunächst könnte man intuitiv annehmen, dass alle anderen Teilnehmer des Netzwerks für diese Transaktion Auftragsdatenverarbeiter nach Art. 4 Nr. 8 DSGVO seien. Allerdings unterliegen die anderen Teilnehmer keinerlei Weisung des Verantwortlichen; ebensowenig gibt es im Regelfall schriftliche oder mündliche Vereinbarungen über die Art und Weise der Verarbeitung, die über das Blockchain-Protokoll hinausgehen, was jedoch keinesfalls die umfangreichen Pflichten nach Art. 28 DSGVO zum Verhältnis zwischen Verantwortlichem und Auftragsdatenverarbeiter erfüllt. Am ehesten entspricht die Handlung des Verantwortlichen, die Bekanntgabe der Transaktion, einer Übermittlung an einen unbestimmten Personenkreis (Veröffentlichung). Formal würde dies im Fall von Bitcoin-Transaktionen erfordern, dass der Verantwortliche gemäß Art. 6 Abs. 1 DSGVO entweder vorab die Einwilligung des Empfängers der Transaktion (lit. a) einholt oder im Rahmen einer Abwägung feststellt, dass sein eigenes berechtigtes Interesse an der Transaktion eventuelle Interessen des Empfängers überwiegt (lit. f).

Während man im Falle von Bitcoin und anderen Finanztransaktionen diese Berechtigung zur Übermittlung nach Art. 6 Abs. 1 DSGVO annehmen kann, da der Empfänger selbst Teilnehmer des Netzwerks ist und darüber hinaus einen finanziellen Vorteil von der Transaktion hat[19], lässt sich diese Einschätzung nicht verallgemeinern für die Fälle, in denen weitere personenbezogene Daten oder Daten von Nicht-Teilnehmern des Netzwerks übermittelt werden.

Möglich wäre, dass alle Teilnehmer des Netzwerks als gemeinsam für die Verarbeitung Verantwortliche („joint controller“) gemäß Art. 26 DSGVO agieren. Dies hätte zur Folge, dass es erstens eine Vereinbarung zur Wahrung der Betroffenenrechte zwischen den Teilnehmer gäbe und zweitens jeder Teilnehmer vollumfänglich gegenüber dem Betroffenen für die Umsetzung von dessen Rechten in die Verantwortung genommen werden kann. Ob diese gemeinsame Verantwortung in bestimmten Szenarien sinnvoll und für die Umsetzung der Betroffenenrechte zielführend ist, muss anhand des Einzelfalls entschieden werden.

Grundsätzlich lässt sich festhalten, dass das europäische Datenschutzrecht auch in seiner neuen Fassung dezentralisierte Datenverarbeitung von personenbezogenen Daten weder fördert noch überhaupt vorsieht.

Auch im Hinblick auf die Rechenschaftspflicht erscheint lediglich die Permissioned Redactable Blockchain geeignet, um die Umsetzung der Grundsätze zu fördern und durch ihren kryptographisch gesicherten Datenspeicher gegebenenfalls auch gegenüber einer

[19] Mit ähnlicher Argumentation schon [Ho17] zur Berechtigung nach § 28 Abs. 1 Satz 1 Nr. BDSG.

Aufsichtsbehörde nachzuweisen. In diesem Szenario ist es auch realistisch, zwischen der zentralen Stelle als Verantwortlichem und allen Teilnehmern Auftragsdatenverarbeitungsvereinbarungen abzuschließen.

2.9 Übersicht

	Permissionless Blockchain	Permissioned Blockchain	Permissioned Redactable Blockchain
Rechtmäßigkeit	n/a	n/a	n/a
Treu und Glauben	n/a	n/a	n/a
Transparenz	+	+	+
Zweckbindung	-	+	+
Datenminimierung	n/a	n/a	n/a
Richtigkeit	-	-	+
Speicherbegrenzung	-	-	+
Vertraulichkeit	-	+	+
Integrität	+	+	+
Rechenschaftspflicht	-	-	+

Tab. 1: Verhältnis von Blockchain-Typen zu Datenschutzgrundsätzen (Bewertung: + (förderlich), - (abträglich), n/a (nicht beantwortbar))

3 Fazit

Die Analyse legt nahe, dass sich Blockchain-Technologie nur sehr bedingt für den Einsatz zur Verarbeitung und Speicherung personenbezogener Daten in der Blockchain anbietet. Zwar bietet die Technologie kryptographische Garantien im Hinblick auf Integrität und Aktualität sowie durch die verteilte Registerführung ein großes Maß an Transparenz für die Beteiligten. Um aber die Grundsätze von Vertraulichkeit, Rechenschaftspflicht und Betroffenenrechte z.B. auf Berichtigung umsetzen zu können, muss die Technologie so weit verändert werden, dass von den ursprünglichen Vorteilen und Garantien der dezentralen Verarbeitung zwischen sich nicht vertrauenden Parteien wenig bleibt. Eine zentral verwaltete, korrigierbare Blockchain (Permissioned Redactable Blockchain) kann zwar zu Verarbeitung personenbezogener Daten eingesetzt werden, unterscheidet sich

jedoch kaum von herkömmlichen Lösungen zur redundanten und kryptographisch abgesicherten Datenspeicherung [WG17].

Auch wenn dezentrale Datenverarbeitung in vielen Anwendungsfällen wünschenswert ist, geht das europäische Datenschutzrecht nach wie vor von einer zentralen Stelle aus, die die gesamte Verarbeitung unter ihrer Kontrolle hat. Dies garantiert zwar, einen Verantwortlichen für die Wahrung der Betroffenenrechte zu haben, forciert aber auch zentralisierte, geschlossene Systeme.

Dies spiegelt sich ebenfalls wider im prominentesten Anwendungsbeispiel von Blockchain-Technologie in den EU Mitgliedsstaaten:

So arbeitet die estnische eHealth Foundation gemeinsam mit dem Blockchain Start Up Guardtime an einem Blockchain-basierten System, um die Integrität der Patientendaten von über einer Million Esten zu schützen [IBT16]. Die Teilnehmer des Blochchain-Systems sind Institute im Gesundheitswesen wie Hausärzte, Fachärzte und Krankenhäuser. Diese speichern Hashes der Patientendaten in der Blockchain, wann immer diese Patientendaten geändert werden. So können andere Teilnehmer erkennen, ob die Patientendaten, die sie verwenden, aktuell sind und falls nicht, wer die Daten seitdem verändert hat.

Das System speichert somit nicht die Patientendaten selbst, sondern lediglich Metadaten, die eine Veränderung der Daten für alle Teilnehmer erkennen und rückverfolgen lassen.

Doch selbst in einem derart geschlossenen System, das die Blockchain nur als Proof of Existence bzw. Proof of Freshness nutzt für sensible Daten, die an anderer Stelle gespeichert sind, bleiben Datenschutzbedenken. So ließen sich beispielsweise allein anhand der Frequenz der Aktualisierung der Hashwerte Rückschlüsse über die Häufigkeit von Arztbesuchen und somit auf den Gesundheitszustand einzelner Betroffener ziehen.

Die Europäische Kommission, die sich bisher explizit bei der Regulierung von Blockchain zurückgehalten hat, um die Innovation nicht zu bremsen, investiert daher in Entwicklung, die versucht, die verteilte Registerführung mit zusätzlichen Kontrollinstrumenten und Anonymisierungsmethoden zu kombinieren.[20] Die geförderten Projekte streben dabei bewusst an, gegebenenfalls auch Vorschläge zu Änderungen des Rechtsrahmens für dezentrale Datenverarbeitung vorzulegen.[21] An dieser Diskussion sollten sich insbesondere Datenschützer und Rechtswissenschaftler beteiligen, um sinnvolle regulatorische Lösungen für das skizzierte Spannungsfeld zu erarbeiten.

[20] Kommissar Ansip verwies im Februar 2017 auf Anfrage des Parlaments auf die Forschungsprojekte DECODE, D-Cent und My Health My Data und kündigte an, die Förderungsbemühungen der Kommission in den nächsten Monaten noch auszuweiten [An17].

[21] Das erst vor wenigen Monaten gestartete H2020 Projekt My Health My Data listet als Objective: „definition of a proper legal and regulatory framework and creation of new rules and best practices for uncovered processes, solutions and methodologies" [My17].

Literaturverzeichnis

[An17] Ansip, A.: Answer given by Vice-President Ansip on behalf of the Commission, 17.02.2017. http://www.europarl.europa.eu/sides/getAllAnswers.do?reference=E-2016-009012&language=EN, Stand: 29.05.2017.

[At17] Ateniese, G.; Magri, B.; Venturi, D.; Andrade, E.: Redactable Blockchain – or – Rewriting History in Bitcoin and Friends. Proceedings of the 2nd IEEE European Symposium on Security and Privacy (EuroS&P), 2017.

[Cd17] Coindesk. Bitcoin Venture Capital. http://www.coindesk.com/bitcoin-venture-capital/ , Stand: 29.05.2017.

[ED16] European Data Protection Supervisor: Newsletter No. 49/Oct. 2016. https://edps.europa.eu/sites/edp/files/publication/newsletter_49_en.pdf, Stand: 29.05.2017.

[EK14] Engelhardt, C.; Klein, S.: Bitcoins – Geschäfte mit Geld, das keines ist - Technische Grundlagen und zivilrechtliche Betrachtung. Multimedia & Recht (MMR) 2014, S. 355-360, 2014.

[ES17] Ehmann, E.; Selmayr, M. (Hrsg): DSGVO. Kommentar. Beck-Verlag, München, 2017.

[Cd17] The Guardian. Tippman/Powles: Google accidentally reveals data on 'right to be forgotten' requests v. 14.07.2015. https://www.theguardian.com/technology/2015/jul/14/google-accidentally-reveals-right-to-be-forgotten-requests, Stand: 29.05.2017.

[He16] Hearn, M.: Bitcoin: Corda: A distributed Ledger. https://docs.corda.net/_static/corda-technical-whitepaper.pdf, 2016, Stand: 29.05.2017.

[Ho17] Hofert, E.: Blockchain-Profiling – Verarbeitung von Blockchaindaten innerhalb und außerhalb der Netzwerke. Zeitschrift für Datenschutz (ZD) 2017, S. 161-166, 2017.

[IBT16] International Business Times. Allison, I.: Guardtime secures over a million Estonian healthcare records on the blockchain, vom 04.03.2016. http://www.ibtimes.co.uk/guardtime-secures-over-million-estonian-healthcare-records-blockchain-1547367, Stand: 29.05.2017.

[Le15] Lerch, M.: Bitcoin als Evolution des Geldes. Zeitschrift für Bankrecht und Bankwirtschaft (ZBB) 2015, S. 190-204, 2015.

[KH16] Kaulartz, M.; Heckmann, J.: Smart Contracts – Anwendungen der Blockchain-Technologie. Computer & Recht (CR) 2016, S. 618-624, 2016.

[RB11] Rost, M.; Bock, K.: Privacy By Design & die Neuen Schutzziele. DuD, S. 30-35,2011.

[SK13] Sorge, C.; Krohn-Grimberghe, A.: Bitcoin – das Zahlungsmittel der Zukunft? Wirtschaftsdienst 10/2013, S. 720-722, 2013.

[My17] My health My data, http://www.myhealthmydata.eu/objectives/, Stand: 29.05.2017.

[Na09] Nakamoto, S.: Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system. 2009.

[WG17] Wüst, K.; Gervais, A.: Bitcoin: Do you need a Blockchain? Cryptology ePrint Archive: Report 2017/375, 2017.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 1037

Datenschutzrechtliche Anforderungen an Smart Glasses-basierende Informationssysteme in der Logistik

Lisa Berkemeier[1], Mary-Rose McGuire[2], Sabrina Steinmann[2], Christina Niemöller[1] und Oliver Thomas[1]

Abstract: Mit der zunehmenden Verbreitung von mobilen Informationssystemen und dem Aufkommen neuer Technologien stehen die relevanten Stakeholder vor der Herausforderung, Aspekte des Datenschutzes und darüber hinaus der informationellen Selbstbestimmung zu erfassen und geeignete Maßnahmen zur Sicherung dieser einzuleiten. Insbesondere die Einführung von Smart Glasses wird hinsichtlich datenschutzrechtlicher Bedenken kontrovers diskutiert. Dieser Diskurs ist einerseits an die neuen Rahmenbedingungen für den Schutz personenbezogener Daten nach der EU-Datenschutzgrundverordnung anzupassen. Andererseits sind aufgrund der Neuheit dieser Technologie die datenschutzrechtlichen Anforderungen und möglichen Gestaltungsvorschlägen für Smart Glasses-basierende Informationssysteme zu entwickeln, für die es bisher aufgrund der Neuheit der Technologie noch an konkreten Ansätzen fehlt. Angelehnt an die Methode der Konkretisierung rechtlicher Anforderungen werden technische und organisatorische Gestaltungsvorschläge, unter der Prämisse des Datenschutzes, in Form eines Frameworks für die Konstruktion und Implementierung von Smart Glasses im betrieblichen Einsatz erarbeitet. Aus dem Framework können spezifische Datenschutzmaßnahmen für konkrete Anwendungsfälle abgeleitet werden.

Keywords: Datenschutz, Informationsprivatheit, BDSG, DSGVO, Smart Glasses, KORA, Logistik

1 Einleitung

Forschungen im Bereich Service Science haben mobile Informationssysteme als notwendiges Instrument zur Bewältigung der vielfältigen Aufgaben im Dienstleistungssektor identifiziert [TNFK14]. Insbesondere Smart Glasses-basierende Informationssysteme sind zur Unterstützung von informationsintensiven Prozessen geeignet [NMFÖ16]. Für die innovativen Anwendungsmöglichkeiten dieser aufstrebenden Technologie ergeben sich jedoch relevante Einschränkungen aus dem Grundrecht auf informationelle Selbstbestimmung sowie den Anforderungen des Datenschutzrechts. Der betriebliche Einsatz dieser soziotechnischen Systeme setzt eine durchgängige Nutzung über den Arbeitstag voraus. Ihnen ist immanent, dass sie bspw. Leistungen, Standort und Bewegungsprofile erfassen, zugleich aber unbeabsichtigt auch personenbezogene Daten oder Fotos von Dritten aufnehmen können. Der Einsatz solcher invasiven Technologien setzt daher

[1] Universität Osnabrück, Informationsmanagement und Wirtschaftsinformatik, Katharinenstr. 3, 49074 Osnabrück, vorname.nachname@uni-osnabrueck.de
[2] Universität Osnabrück, Lehrstuhl für Bürgerliches Recht, Recht des Geistigen Eigentums sowie deutsches und europäisches Zivilprozessrecht, Katharinenstr. 15, 49074 Osnabrück, vorname.nachname@uni-osnabrueck.de

doi:10.18420/in2017_106

voraus, dass die Eingriffsintensität so gering wie möglich ausfällt und die berechtigten Interessen der Betroffenen durch kompensatorische Maßnahmen abgesichert werden. Den rechtlichen Rahmen hierfür bildet derzeit primär das Bundesdatenschutzgesetz, das aber zunehmend durch einen europäischen Rechtsrahmen überlagert wird. Die am 24. Mai 2017 in Kraft getretene EU-Datenschutzgrundverordnung (DSGVO) ist – ebenso wie das auf dieser Basis angepasste BDSG – ab Mai 2018 anwendbar. Gemeinsamer Nenner all dieser Rechtsgrundlagen ist, dass sie die Datensouveränität und Privatsphäre der Betroffenen vor eingreifenden Technologien, wie bspw. Smart Glasses, schützen und zu diesem Zweck dem Verwender aufgeben, Vorkehrungen für die Erhebung, Speicherung und Nutzung von Daten zu treffen. Jedoch mangelt es an konkreten Maßnahmen für die Ausgestaltung, die den gesetzlichen Vorgaben Rechnung tragen.

Erste Studien evaluieren die funktionsorientierte Konstruktion von Smart Glasses-basierenden Systemen, berücksichtigen jedoch nicht explizit Anforderungen an einen umfassenden Datenschutz [NMFÖ16]. Aus dieser Ausgangssituation ergeben sich die Forschungsfragen (F1) *Welche datenschutzrechtlichen Anforderungen an Smart Glasses bestehen?* und eng damit verknüpft (F2) *Wie muss ein Smart Glasses-basierendes System gestaltet werden um diese Anforderungen zu erfüllen?* Im Rahmen eines Design-Science-Research-Ansatzes werden daher technische und organisatorische Gestaltungsvorschläge für den betrieblichen Einsatz von Smart Glasses unter der Prämisse des Datenschutzes, in enger Zusammenarbeit mit potenziellen Adressaten des Systems, im Rahmen einer Case Study erarbeitet. Aufgrund des aktuellen Handlungsbedarfs durch erste Anwendungsfälle von Smart Glasses im Bereich der Logistik [BeSa16] wurde diese als Anwendungsdomäne fokussiert. Die Erkenntnisse zu den Anforderungen an den Datenschutz von Smart Glasses-basierenden Informationssystemen werden durch eine „Konkretisierung rechtlicher Anforderungen“ (KORA) strukturiert. Das zentrale Ergebnis ist ein Framework zur Identifikation von Gestaltungsvorschlägen für die Konstruktion und Implementierung eines Smart Glasses-basierenden Informationssystems. Der Beitrag gliedert sich wie folgt: In Abschnitt 2 werden zunächst theoretische Grundlagen im Bereich Smart Glasses und Datenschutz diskutiert. In Abschnitt 3 wird die Forschungsmethode vorgestellt. In Abschnitt 4 erfolgt die Ableitung datenschutzrechtlicher Anforderungen an Smart Glasses. In Abschnitt 5 erfolgt die Ergebnispräsentation des Frameworks zur datenschutzkonformen Gestaltung eines entsprechenden Systems. In Abschnitt 6 werden die Ergebnisse zusammengefasst und weiterer Forschungsbedarf aufgezeigt.

2 Stand der Wissenschaft

Der Funktionsumfang aktueller Smart-Glasses-Modelle erfasst und nutzt Daten über den Nutzer und seine Umgebung. So werden Informationen und auch digitale Kommunikation, Bild und Tonaufnahmen der Umgebung, sowie die Identifikation von Personen und Gegenständen ermöglicht. Darüber hinaus werden durch weitere Sensoren Bewegungsdaten und ggfs. auch medizinische Werte des Nutzers erfasst [NMFÖ16]. Smart Glasses

sind auf Grund dieser Eingriffe in die Privatsphäre, sowohl des Nutzers, als auch Personen in dessen Umgebung, aus Sicht des Datenschutzes den invasiven Technologien und Werkzeugen zu zuordnen. Die Erforschung entsprechender Technologien wird zumeist isoliert von konkreten Einsatzszenarien durchgeführt und fokussiert abstrakte Datenschutzkonzepte anstelle von implementierbaren Lösungen [BéCr11]. Unter Berücksichtigung dieser Kritik ist die Integration potenzieller Anwender und konkreter Anforderungen des Datenschutzes ein essentieller Faktor, bereits im Design und der Implementierung eines Smart Glasses-basierenden Informationssystems. Die Umsetzung des Datenschutzes im betrieblichen Kontext ist eine Kernaufgabe jedes Unternehmens, das hierfür das Bewusstsein aller Beteiligten schärfen und die Anforderungen als wichtigen Bestandteil aller Entscheidungsprozesse und Handlungen im IT und Kommunikationsbereich verankern muss [Wäch03]. Dabei ist jedoch zu beachten, dass der tradierte Begriff des Schutzes der Privatsphäre durch den Begriff der Datensouveränität abgelöst wird. Der Einsatz dieser eingreifenden Technologien erfordert folglich eine neue Definition des Verständnisses von Datenschutz [Schw15]. So gewinnt das Konstrukt der Informationsprivatheit, als das Interesse einer Person an der Einflussnahme auf Umfang und Modalitäten der Erhebung, die Kontrolle über die Verarbeitung und den Zugriff auf personenbezogene Daten durch Dritte an Bedeutung [BéCr11].

3 Forschungsstrategie zur Entwicklung eines Smart Glasses-basierenden Informationssystems

Das übergeordnete Forschungsziel ist die Konstruktion eines Informationssystems zur Dienstleistungsunterstützung. Zur Gestaltung des Systems selbst bei gleichzeitiger Berücksichtigung der bestehenden Konflikte mit der Informationsprivatheit der Nutzer, folgt die Forschungsstrategie einem iterativen Design Science Research-Ansatz (DSR). In der klassischen DSR werden Meta-Anforderungen und Lösungskomponenten definiert und iterativ evaluiert. [HMPR04] Für eine rigorose Strukturierung der Problemdomäne und eine fortlaufende Integration neuer Erkenntnisse der Perspektiven Anwender, Entwickler und Designer in die Artefaktkonstruktion, erfolgt ein iteratives Vorgehen mit den Phasen: Heuristische Suche (bestehend aus Problemstrukturierenden Heuristiken sowie Artefakt-Design Heuristiken) und Heuristische Synthese [GrMu14] (vgl.Abb. 1). Für die Systemkonzeption werden Meta-Anforderungen sowohl aus den juristischen Anforderungen, insbesondere der DSGVO, als auch der wirtschaftswissenschaftlichen Literatur hergeleitet und durch spezifische Anforderungen der befragten Nutzer ergänzt. Die korrespondierenden Lösungskomponenten basieren hauptsächlich auf Erkenntnissen aus Experteninterviews in der Anwenderdomäne und werden erweitert durch Erkenntnisse aus der Literatur. Zur Konkretisierung der wesentlichen datenschutzrechtlichen Anforderungen aus rechtlichen Vorschriften und Literatur, wurde eine Methode aus der Problemdomäne der rechtlichen Gestaltung von IKT angewendet (vgl. Abschnitt 3.2). Für die Entwicklung der Meta-Anforderungen und Lösungskomponenten haben einzelne Methoden zur Identifikation relevanter Literatur (vgl. Abschnitt 2) und der Befragung von Experten (vgl. Abschnitt 3.3), Informationen generiert.



Abb. 1: Methodisches Vorgehen

Konkretisierung rechtlicher Anforderungen. Die Identifikation der relevanten rechtlichen Anforderungen sowie die sich daraus ergebenden Vorgaben an das Smart Glasses-basierende Informationssystem erfolgen durch die Methode der Konkretisierung rechtlicher Anforderungen (KORA) basierend auf dem Vorgehen von Hammer et al. (1993) zur rechtsgemäßen Gestaltung von IKT (vgl. Abb. 2). Die Methode wurde gewählt, da KORA nicht auf eine Bewertung der rechtlichen Ausgangssituation limitiert ist, sondern auf spezifische Gestaltungsvorschläge für die technische und organisationale Umsetzung eines sozio-technischen Systems zielt [SSZC11]. Nach dem Ansatz der KORA erfolgt zunächst eine Beschreibung der konkreten rechtlichen Anforderungen. Aus diesen werden anschließend spezifische rechtliche Kriterien für die Einführung einer neuen Technologie im privatwirtschaftlichen Kontext abgeleitet. Im Einklang mit diesen Kriterien werden technische Gestaltungsziele an das System statuiert und schließlich konkrete Gestaltungsvorschläge formuliert [HaPR93]. Hinzuweisen ist darauf, dass sich das Ziel dieses Beitrags auf die Konkretisierung der datenschutzrechtlichen Anforderungen an Smart Glasses-basierende Systemen im betrieblichen Kontext beschränkt. Die umfassende rechtliche Beurteilung von Smart Glasses muss – nicht zuletzt vor dem Hintergrund der aktuellen Entwicklungen im Datenschutzrecht – weiteren Arbeiten vorbehalten werden.



Abb. 2: Konkretisierung rechtlicher Anforderungen

Experteninterviews. In einer Case Study mit einem globalen Logistikdienstleister wurden ein Datenschutzbeauftragter, ein Information Security Officer, sowie ein Betriebsratsvorsitzender, als Experten befragt. In Bezug auf die Informationsprivatheit der Nutzer des Informationssystems sind insbesondere die Erkenntnisse des Betriebsratsvorsitzenden, als Vertreter der betroffenen Mitarbeiter, richtungsweisend. Die Fragen zum Themenkomplex Datenschutz ergeben sich aus den rechtlichen Kriterien, die sich aus dem aktuellen Rechtsrahmen (BDSG, DSGVO) sowie der Literatur spezifisch zur datenschutzrechtlichen Betrachtung in invasiver Technologien ableiten. So wurden die Exper-

ten unter anderem gefragt *„Welche Anforderungen sollten ihrer Expertise nach bei der Gestaltung eines Smart Glasses Systems besonders berücksichtigt werden?“* und *„Welche konkreten Gestaltungsvorschläge leiten Sie aus den genannten Anforderungen für die Systementwicklung ab?“*. Ziel der Interviews bestand im ersten Schritt in der Vervollständigung der Problemklassen, sowie in der Ableitung von Meta-Anforderungen in Form technischer Gestaltungsziele. Darauf aufbauend wurden konkrete Gestaltungsvorschläge, als Lösungskomponenten für das Systemdesign, in den Interviews entwickelt. Der zu Grunde liegende Interviewleitfaden ist semi-strukturiert, um die für den iterativen Einsatz notwendige Flexibilität zu ermöglichen. Die Datenauswertung der Interviews erfolgte durch eine dokumentarische Transkription und Codierung nach Nohl (2012) [Nohl12].

4 Ableitung datenschutzrechtlicher Anforderungen an Smart Glasses-basierende Informationssysteme

4.1 Rechtliche Anforderungen

Vornehmlich konkretisiert die DSGVO die rechtskonforme automatisierte Datenverarbeitung, genauer die Erhebung, Verarbeitung und Nutzung, von personenbezogenen Daten [PaPa17]. Personenbezogene Daten umfassen nach Art. 4 Nr. 1 DSGVO Einzelangaben über persönliche oder sachliche Verhältnisse einer natürlichen Person. Im Fall von Datenerhebungen innerhalb von Gruppen handelt es sich weiterhin um ein persönliches Datum, wenn Rückschlüsse auf einen Einzelnen gezogen werden können [PaPa17]. Ferner gibt es spezielle Regelungen hinsichtlich besonderer Arten personenbezogener Daten (bspw. Herkunft, Gewerkschaftszugehörigkeit oder Gesundheit) (vgl. Art. 4 Nr. 1, 13, 14 DSGVO). Ist die DSGVO anwendbar, werden Anforderungen an die Rechtmäßigkeit der Verarbeitung, die in der Regel die Einwilligung des Betroffenen voraussetzt (Art. 6 ff.), sowie Rechte des Betroffenen und Schutzpflichten des Verantwortlichen definiert (Art. 12 ff.), wobei die Dichte der Rechte und Pflichten jeweils von der Kategorie der erhobenen Daten und dem Zweck der Erhebung abhängen. Leitprinzipien sind dabei die Datensparsamkeit, Datentransparenz und Datensicherheit. Die nachfolgende Analyse beruht auf der Annahme, dass beim Einsatz von Smart Glasses nur sonstige Daten, also weder genetische, biometrische und Gesundheitsdaten noch sicherheitsrelevante Daten erhoben werden und dies im berechtigten Interesse des Unternehmens erfolgt. Im Folgenden wird der Rahmen der DSGVO als Maßstab für die Strukturierung der Problemklasse Datenschutz herangezogen. Dies hat zugleich den Vorteil, dass die vorgestellte Methode aus für die Ausgestaltung in anderen Mitgliedstaaten herangezogen werden kann. Die entsprechenden rechtlichen Anforderungen werden in Abb. 5 dargestellt.

4.2 Rechtliche Kriterien

Die DSGVO ist ein Regelungsrahmen auf hohem Abstraktionsniveau. Wenngleich sie aufgrund der weiten Definition des Begriffs der „persönlichen Daten“ auch den Einsatz von Smart Glasses umfasst ist sie – wie Zielsetzung und Regelungssystematik belegen – im Kern auf ganz andere Fälle, insb. das Profiling zugeschnitten. Vor diesem Hintergrund bietet es sich an, für die Auswahl der relevanten rechtlichen Kriterien zur Einführung eines auf Smart Glasses basierenden Informationssystems den ersten Befund nicht an Hand des Normtextes, sondern primär aus Erkenntnissen der Literaturrecherche abzuleiten. In der Literatur ergibt sich ein überwiegend einvernehmliches Verständnis der für IKT relevanten, Ausprägungen des Datenschutzes (vgl. Abb.3). Diese Kriterien können im Rahmen von KORA als rechtliche Kriterien und im Sinne des DSR-Ansatzes als Teilprobleme formiert werden. Eine Übersicht über die in der Fachliteratur identifizierten Konstrukte gibt Abb. 3. Die acht identifizierten Kriterien werden mindestens von zwei verschiedenen Autoren genannt und stehen in einer interdependenten Beziehung zueinander.

Konstrukte aus der Literatur	Ausprägungen der Konstrukte								
[BDFG14]	Rechtsdurchsetzung	Zweckbindung	Transparenz	Rechtliche Rahmenbedingungen technischer Schutzmechanismen	k.A.	k.A.	Datensparsame Technikgestaltung	k.A.	Interaktionalität & Outsourcing Verantwortlichkeiten
[Thür14]	Einwilligung	Zweckbindungsgrundsatz	Rechte auf Auskunft	k.A.	k.A.	k.A.	Datenvermeidung und -Sparsamkeit	Mitbestimmungsrecht	k.A.
[Bize07]	Rechtmäßigkeit ohne Einwilligung	Zweckbindung	Transparenz	Datensicherheit	Erforderlichkeit	Kontrolle	k.A.	k.A.	k.A.
[HaPR93]	Entscheidungsfreiheit	Zweckbindung	Transparenz	Technikeinsatz	Erforderlichkeit	Kontrollsignale	k.A.	Anpassungsfähigkeit	Arbeitserleichterung Wirkungsmacht
[Roßn07]	Besondere Zulassung	Zweckbindung	Transparenz	Selbst- und Systemdatenschutz	Erforderlichkeit	Kontrolle	k.A.	Mitwirkung	k.A.
Rechtliche Kriterien	Einwilligung	Zweckbindung	Transparenz	Datensicherheit	Erforderlichkeit	Kontrolle	Datenvermeidung und sparsamkeit	Mitwirkung	keine Zuordnung

Abb. 3: Herleitung der rechtlichen Kriterien aus der Literatur

4.3 Ziele technischer Gestaltung

Die Ziele der technischen Gestaltung eines Smart Glasses-basierenden Informationssystems nach KORA stellen Meta-Anforderungen im Sinne der DSR-Methode dar. Diese begegnen der Problemdomäne auf Ebene der Teilprobleme und adressieren konkrete Lösungselemente.

Erkenntnisse aus der Literatur. In der Literatur wurden insgesamt 16 Meta-Anforderungen an die Lösungskomponenten des Datenschutzes von Smart Glasses-basierenden Informationssystemen identifiziert. Aus der DSGVO können sowohl direkte als auch implizite Anforderungen an die Gestaltung eines Smart Glasses-basierenden Systems abgeleitet werden. Im Fokus der Betrachtungen steht dabei Art. 24 i.V.m. Art. 25 DSGVO als spezifische Norm für den Datenschutz durch Technik [PaPa17]. Eine Übersicht wird in Abb. 5 dargestellt.

Erkenntnisse aus den Interviews. Im Rahmen der Experteninterviews wurden vier Meta-Anforderungen ergänzt (MA5,8,10,14) und drei Meta-Anforderungen parallel zur Literatur entwickelt (MA2,4,6). Einige Aspekte wurden mehrfach genannt oder variieren in der Formulierung oder Ausrichtung der Aussagen. Daher wurden die Aspekte in einem nächsten Schritt einheitlich als Gestaltungsziele formuliert. Auf dieser abstrakten Ebene konnten mehrere Aspekte zu einer gemeinsamen Meta-Anforderung aggregiert werden. Diese Zuordnung wird in Abb. 4 dargestellt.

Aspekt	I1	I2	I3	Aggregation
Keine Aufnahmen in sozialen Räumlichkeiten	x			(MA2) Aufnahmen nur in erforderlichen Bereichen
Aufnahmen nur in vorgesehenen Bereichen	x		x	
Keine individuellen Kennzahlen erheben	x	x		(MA4) Kennzahlen dürfen nicht individualisierbar sein
Kennzahlen dürfen nicht individualisierbar sein		x		
Keine Laufleistung erfassen		x		
Erkennbarkeit von Aufnahmen	x			(MA5) Erkennbarkeit von Datenerhebungen
Erkennbarkeit von Datenerhebungen		x		
Keine Erhebung besonderer personenbezogener Daten		x	x	(MA6) Keine Verarbeitung besonderer personenbezogener Daten
Gesundheitszustand nicht erfassen		x	x	
Datenschutz von Beginn bei der Systemplanung integrieren		x	x	(MA8) Datenschutz von vornherein berücksichtigen
Mitarbeiter von Beginn einbeziehen	x			(MA10) Mitarbeiter von vornherein einbeziehen
Mitarbeiter vorab einbeziehen	x	x		
Vertrauliche Kommunikation			x	(MA14) Vertraulichkeit

Abb. 4: Meta-Anforderungen aus den Experteninterviews

4.4 Technische Gestaltungsvorschläge

Erkenntnisse aus der Literatur. Auffällig ist das Ungleichgewicht zwischen Meta-Anforderungen (Abschnitt 4.4) und konkreten Lösungselementen aus der Literatur. Insbesondere die DSGVO beschreibt die Anforderungen an die Rahmenbedingungen des Datenschutzes, geht jedoch nicht auf spezifische Aktivitäten oder Handlungsanweisungen zur Umsetzung ein. Primäre Ursache hierfür ist, dass der rechtliche Rahmen bewusst technologieneutral formuliert ist (EG 15 DSGVO), um eine rasche Anpassung der Normen an die Schnelllebigkeit entsprechender technischer Lösungen entbehrlich zu machen. So gibt es abstrakte technische und organisatorische Maßnahmen (Art. 32 DSGVO) (LK13) zur Gewährleistung der Datensicherheit, die nur teilweise im Mindestmaß-

nahmenkatalog spezifiziert werden [PaPa17]. Die DSGVO stellt einen umfassenden Pflichtenkatalog für die Verarbeitung personenbezogener Daten auf, wobei der Umfang von der Intensität des Eingriffs abhängt. Daraus lässt sich umgekehrt die Anforderung ableiten, dass – soweit möglich – nur Daten erhoben werden sollten, die keiner der besonders geschützten Kategorien zuzuordnen sind, diese nur in dem erforderlichen Ausmaß erhoben werden und keine dauerhafte Speicherung erfolgen sollte. Die Erhebung von Daten durch ein privatwirtschaftliches Unternehmen setzt zudem eine explizite und informierte Einwilligung voraus, die von Seiten des Unternehmens zu dokumentieren ist.

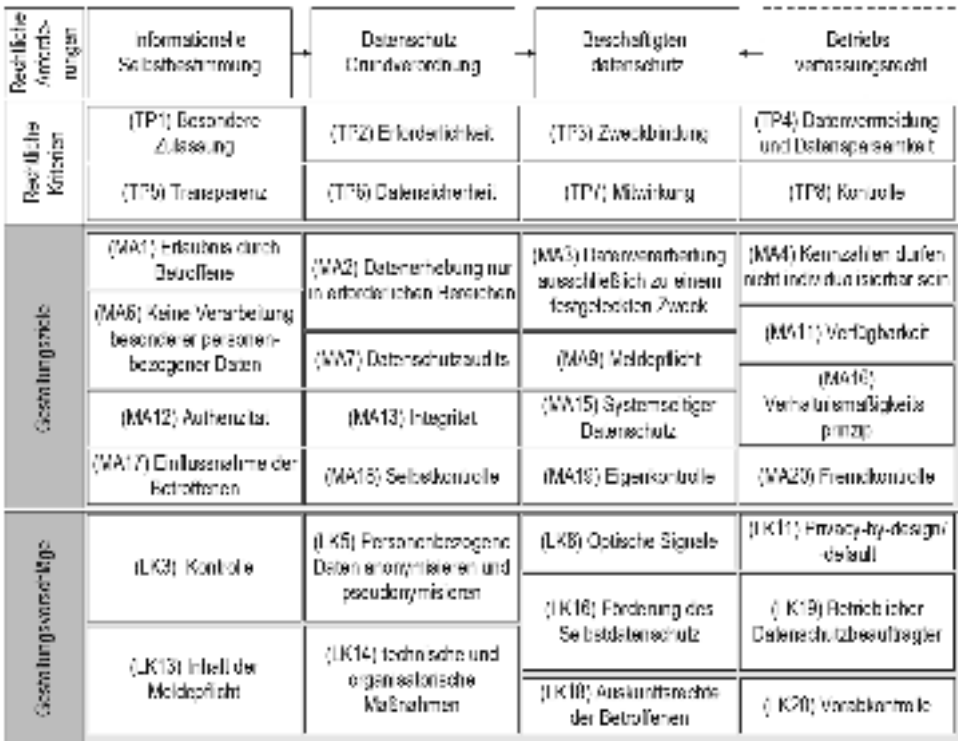


Abb. 5: Ergebnisse der KORA, basierend auf der Literatur

Erkenntnisse aus den Interviews. In den Experteninterviews wurde diese Auslegungsfreiheit der DSGVO kritisch betrachtet. Welche Maßnahmen ausreichend sind, um dem aktuellen Stand der Datensicherheit zu entsprechen, liegt im Ermessen der Unternehmen. Dieser Konflikt verdeutlicht die Notwendigkeit freiwilliger Maßnahmen, wie die kontinuierliche Einhaltung und Auditierung angemessener Sicherheitsstandards im Sinne des Art. 32 DSGVO (LK10). In den Interviews wurden zehn Lösungskomponenten für die Problemdomäne Datenschutz herausgearbeitet (vgl. Abb. 6).

Aspekt	I1	I2	I3	Aggregation
Betriebsvereinbarung	x	x	x	(LK1) Betriebsvereinbarung
Schutzzonen			x	(LK2) Schutzzonen
Gates zur Abschaltung			x	
Freiwilligkeit individueller Kennzahlen	x			(LK6) Individuelle Kennzahlen freiwillig und persönlich
Individuelle Kennzahlen nur Mitarbeiter spiegeln	x			
Kennzahlen auf Team/ Mannschaftsebene	x			(LK7) Gruppenbezogene Kennzahlen
Optisches Signal bei Aufnahme			x	(LK8) Optische Signale
Keine Speicherung von Video- und Fotoaufnahmen		x		
Schlankere Businessgeräte			x	(LK9) Funktionsabschaltung
ISO 47001		x		(LK10) Sicherheitsstandards
Privacy-by-Design		x		(LK11) Privacy-by-Design/ Default
Gewicht möglichst gering halten		x		(LK12) Modellwahl
Funktionsweise System kommunizieren	x			(LK13) Inhalt der Meldepflicht
Zweck der Datenerhebung	x			
Inhalt der Datenerhebung	x			
Verantwortliche Stelle bekannt machen	x			
Schriftliche Erklärung aushängen		x		
Zugriffsbeschränkung	x		x	(LK14) Technische und organisatorische Maßnahmen
Interne Datenschutzorganisation		x		
Verschlüsselung			x	(LK15) Verschlüsselung
Betriebsrat entscheidet ob Aufnahmen angesehen werden dürfen	x			(LK17) Einflussnahme des Betriebsrats
Datenschutzbeauftragter	x			(LK19) Betrieblicher Datenschutzbeauftragter
Vorabkontrolle	x	x	x	(LK20) Vorabkontrolle

Abb. 6: Lösungskomponenten aus den Experteninterviews

5 Framework zur datenschutzkonformen Gestaltung von Smart Glasses-basierenden Informationssystemen

Ausgehend von den Teilproblemen, erfolgt die Zuordnung der Meta-Anforderungen und entsprechenden Lösungskomponenten, dargestellt in Abb. 7. Das entstandene Framework dient als Übersicht, welche rechtlichen Rahmenbedingungen eingehalten werden müssen und offeriert entsprechende Gestaltungsmöglichkeiten für die Konstruktion und Implementierung eines Smart Glasses-basierenden Systems. So verlangt bspw. die Erforderlichkeit der Datenerhebung (TP2), die Beschränkung der Datenerhebung auf erforderliche Bereiche (MA2). Diese Anforderung wird umgesetzt in der Errichtung von Schutzzonen (LK2).

Teilproblem (TP)		Meta-Anforderung (MA)		Lösungskomponente (LK)	
TP1	Rechtmäßigkeit/ besondere Zulassung	MA1	Erlaubnis durch Betroffene	LK1	Betriebsvereinbarung
TP2	Erforderlichkeit	MA2	Datenerhebungen nur in erforderlichen Bereichen	LK2	Schutzzonen
TP3	Zweckbindung	MA3	Datenverarbeitung ausschließlich zu einem festgelegten Zweck	LK3	Kontrolle
				LK4	Daten nach Zweck getrennt speichern
TP4	Datenvermeidung und Datensparsamkeit	MA4	Kennzahlen dürfen nicht individualisierbar sein	LK5	Anonymisieren und Pseudonymisieren
				LK6	Individuelle Kennzahlen freiwillig und persönlich
				LK7	Gruppenbezogene Kennzahlen
		MA5	Erkennbarkeit von Datenerhebungen	LK8	Optische Signale
		MA6	Keine Verarbeitung besonderer personenbezogener Daten	LK9	Funktionsabschaltung
TP5	Transparenz	MA7	Datenschutzaudits	LK10	Sicherheitsstandards
		MA8	Datenschutz von vornherein berücksichtigen	LK11	Privacy-by-Design/ Default
				LK12	Modellwahl
		MA9	Meldepflicht	LK13	Inhalt der Meldepflicht
		MA10	Mitarbeiter von vornherein einbeziehen		
TP6	Datensicherheit	MA11	Verfügbarkeit	LK14	Technische und organisatorische Maßnahmen
		MA12	Authentizität		
		MA13	Integrität		
		MA14	Vertraulichkeit	LK15	Verschlüsselung
		MA15	Systemseitiger Datenschutz	LK11	Privacy-by-Design/ Default
		MA16	Verhältnismäßigkeitsprinzip		
TP7	Mitwirkung	MA17	Einflussnahme der Betroffenen	LK17	Einflussnahme des Betriebsrats
				LK18	Auskunftsrechte des Betroffenen
TP8	Kontrolle	MA18	Selbstkontrolle	LK16	Förderung des Selbstdatenschutzes
		MA19	Eigenkontrolle	LK19	Betrieblicher Datenschutzbeauftragter
				LK20	Vorabkontrolle
		MA20	Fremdkontrolle	LK10	Sicherheitsstandards

Abb. 7: Framework zur datenschutzrechtlichen Gestaltung eines Smart Glasses-Systems

Passieren Smart-Glasses-Nutzer diese Bereiche, erfolgt eine automatische Abschaltung des entsprechenden Sensors, wie einer Kamera, mittels gesetzter Marker. Lösungskomponenten wie diese, die auf die technologiebasierten Einschränkungen mit wiederum technischen Lösungen reagieren, verdeutlichen die Relevanz der Erforschung von Informationsprivatheit in der Wirtschaftsinformatik [Pavl11] und erweitern die Möglich-

keiten des Selbstdatenschutzes der Anwender durch die Nutzung entsprechender Technologien.

6 Fazit und Ausblick

Durch die Kombination der Methoden KORA, Experteninterviews und Literaturrecherche, im Rahmen des DSR-Ansatzes Heuristic Theorizing, wurde ein Datenschutz-Framework für Smart Glasses-basierende Informationssysteme in der Logistik entwickelt. Es kann eine Ergänzung um domänenspezifische Anforderungen für weitere Branchen erfolgen in dem das Framework und das methodische Vorgehen als Basis für weitere Forschungsarbeiten herangezogen werden. Das Framework ergänzt vorhandene Datenschutzregelungen um Anforderungen aus der Informationsprivatheit, durch die Integration verschiedener Stakeholder-Perspektiven. Um die Forschungslücke der Integration der Anwender in Gestaltung und Evaluation entsprechender Systeme weiter zu schließen, ist das Framework mittels einer Instanziierung durch einen Prototyp zu untersuchen. In diesem Zusammenhang ergibt sich die weiterführende Fragestellung (F3) *Wie können Maßnahmen der Informationsprivatheit in der Systementwicklung umgesetzt werden?* Dazu werden zunächst einzelne Lösungskomponenten weiter spezifiziert, insbesondere die mit der DSGVO rechtlich verankerten Grundsätze der Systementwicklung Privacy-by-Design und Privacy-by-Default. Somit ergibt sich u.a. als fortführende Forschungsfrage (F3.1) *Wie können auf dem aktuellen Stand der Datensicherheit, die technischen und organisatorischen Maßnahmen nach Art. 32 DSGVO für Smart Glasses im betrieblichen Einsatz gestaltet und kontrolliert werden?* Darüber hinaus sind insbesondere Privacy-Enhancing-Technologies im Sinne des Art. 25 DSGVO, zur Umsetzung des Selbstdatenschutzes in einer vom Internet of Things geprägten Arbeitswelt zu konkretisieren. Die Ergebnisse dieser Ausarbeitung dienen darüber hinaus als Basis für weitere Forschung im Bereich Informationsprivatheit als Einflussgröße der Technologieakzeptanz, um die Nutzerperspektive nachhaltig in den Fokus der datenschutzrechtlichen Gestaltung von Informationssystemen zu rücken. In dem vorliegenden Paper wird die Wissensbasis im Bereich der Informationsprivatheit erweitert durch ein Framework zur datenschutzrechtlich-konformen Gestaltung von Smart Glasses-basierenden Informationssystemen, sowie ein praxisrelevanter Beitrag geleistet durch die Ableitung entsprechender Design-Prinzipien. Aktuell wird das vorgestellte Framework von den Autoren genutzt, um ein Smart Glasses-basiertes Informationssystem zur Unterstützung von Logistikdienstleistern zu implementieren. Dabei unterstützt das Framework als Diskussionsgrundlage zur gemeinsamen Konzeption mit einem mittelständischen und einem großen Unternehmen der Logistik.

Danksagung

Dieser Beitrag ist Teil des Projekts Glasshouse, welches vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) unter dem FKZ. 01FJ15062 gefördert wird.

Literaturverzeichnis

[BéCr11] Bélanger, France und Crossler, Robert E: Privacy in the digital age: A review of information privacy research in information systems. In: *MIS Quarterly* Bd. 35 (2011), Nr. 4, S. 1017–1041

[BeSa16] Bechtle ; SAP: Smarte Brillen optimieren Lagerlogistik. In: *it&t business* Bd. 02–03/2016 (2016), S. 27–28 — ISBN 2081066066481

[GrMu14] Gregory, Robert Wayne und Muntermann, Jan: Generating Design Theories Heuristic Theorizing : Proactively Generating Design Theories. In: *Information Systems Research* Bd. 25 (2014), Nr. 3, S. 639–653 — ISBN 10477047

[HaPR93] Hammer, Volker ; Pordesch, Ulrich ; Roßnagel, Alexander und Gerhard Zeidler (Hrsg.): *Betriebliche Telefon- und ISDN-Anlagen rechtsgemäß gestaltet* : Springer Berlin Heidelberg, 1993 — ISBN 9783540565116

[HMPR04] Hevner, Alan R ; March, Salvatore T ; Park, Jinsoo und Ram, Sudha: Design Science in Information Systems Research. In: *MIS Quarterly* Bd. 28 (2004), Nr. 1, S. 75–105

[NMFÖ16] Niemöller, Christina ; Metzger, Dirk ; Fellmann, Michael ; Özcan, Deniz und Thomas, Oliver: Shaping the Future of Mobile Service Support Systems – Ex-Ante Evaluation of Smart Glasses in Technical Customer Service Processes. In: *Informatik 2016*. Klagenfurt, 2016

[Nohl12] Nohl, Arnd-Michael: *Interview und dokumentarische Methode*. 4. Auflage. Aufl. Wiesbaden : Springer VS, 2012 — ISBN 978-3-486-71955-0

[PaPa17] Paal, Boris P. ; Pauly, Daniel A. ; Paal, B. P. ; Pauly, D. A. ; Ernst, S. ; Frenzel, E. M. ; Körffer, B. und Matini, M. (Hrsg.): *Datenschutz-Grundverordnung* : Beck'sche Kompakt-Kommentare, 2017

[Pavl11] Pavlou, Paul A: State of the Information privacy Literature: Where Are We and Where Should We Go? In: *MIS Quarterly* Bd. 35 (2011), Nr. 4, S. 977–988

[Schw15] Schwenke, Thomas: Schnittstellen zum „ Cyborgspace " – Erkenntnisse zu Datenbrillen nach Ende des „ Google Glass " -Experiments Warum das Konzept der Privatsphäre in einer. In: *DuD* Bd. 3 (2015)

[SSZC11] Schulz, Thomas ; Skistims, Hendrik ; Zirfas, Julia ; Comes, Diana und Evers, Christoph: Vorschläge zur rechtskonformen Gestaltung selbst-adaptiver Anwendungen. In: *Informatik*. Berlin, 2011 — ISBN 9783885792864, S. 182–184

[TNFK14] Thomas, O ; Nüttgens, M ; Fellmann, M ; Krumeich, J ; Hucke, S ; Breitschwerdt, R ; Rosenkranz, N und Schlicker, M ; U. A.: Empower Mobile Technical Customer Services (EMOTEC) – Produktivitätssteigerung durch intelligente mobile Assistenzsysteme im Technischen Kundendienst. In: NÜTTGENS, M. ; THOMAS, O. ; FELLMANN, M. (Hrsg.): *Dienstleistungsproduktivität* : Springer Fachmedien Wiesbaden, 2014. — NULL, S. 2–17

[Wäch03] Wächter, Michael: *Datenschutz im Unternehmen*. 4. Aufl. München : CH Beck, 2003 — ISBN 3406492533

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 1049

PrivacyScore: Analyse von Webseiten auf Sicherheits- und Privatheitsprobleme – Konzept und rechtliche Zulässigkeit*

Max Maass[1], Anne Laubach[2], Dominik Herrmann[3]

Abstract: PrivacyScore ist ein öffentliches Web-Portal, mit dem automatisiert überprüft werden kann, ob Webseiten gängige Mechanismen zum Schutz von Sicherheit und Privatheit korrekt implementieren. Im Gegensatz zu existierenden Diensten ermöglicht PrivacyScore, mehrere Webseiten in *Benchmarks* miteinander zu vergleichen, die Ergebnisse differenziert und im Zeitverlauf zu analysieren sowie nutzerdefinierte Kriterien für die Auswertung zu definieren. PrivacyScore verbessert dadurch nicht nur die Transparenz für Endanwender, sondern erleichtert auch die Arbeit der Datenschutz-Aufsichtsbehörden. In diesem Beitrag stellen wir das Konzept des Dienstes vor und wir erörtern, unter welchen Umständen das automatische Scannen und öffentliche „Anprangern" von Schwächen aus rechtlicher Sicht zulässig ist.

Keywords: Privatheit; Tracking; Datenschutz; DSGVO; ePrivacy-VO-E

1 Einleitung

Der sichere Betrieb einer Webseite ist eine Aufgabe, die viel technischen Sachverstand benötigt. Unsichere Webseiten gefährden nicht nur die Infrastruktur der Seitenbetreiber, sondern auch die Sicherheit und Privatheit der Besucherinnen. Die Privatheit der Besucherinnen kann allerdings auch durch Entscheidungen des Seitenbetreibers beeinträchtigt werden, etwa durch die Verwendung von Analysediensten oder Werbenetzwerken. Seitenbetreiber nutzen hier oft kommerzielle Angebote (etwa *Google Analytics*) anstatt einer lokalen Lösung, die die Privatheitsinteressen der Besucherinnen besser berücksichtigt (z. B. *Piwik*).

Die Entscheidungen der Betreiber sind dabei für Besucherinnen oft intransparent. Es gibt zwar bereits einige kostenlose Webseiten-Scanner, die die Konfiguration einer Webseite auf gängige Sicherheitslücken untersuchen; Aspekte der Privatheit werden von den existierenden Scannern jedoch weitgehend ignoriert. Des Weiteren bieten existierende Scanner keine Möglichkeit, die Ergebnisse mehrerer Webseiten direkt miteinander zu vergleichen.

[1] Technische Universität Darmstadt, Secure Mobile Networking Lab, Mornewegstr. 32, 64293 Darmstadt, Deutschland, mmaass@seemoo.tu-darmstadt.de
[2] Universität Kassel, Projektgruppe verfassungsverträgliche Technikgestaltung (provet), Pfannkuchstr. 1, 34109 Kassel, Deutschland, a.laubach@uni-kassel.de
[3] Universität Hamburg, Sicherheit verteilter Systeme, Vogt-Kölln-Str. 30, 22527 Hamburg, Deutschland, herrmann@informatik.uni-hamburg.de
* Dieser Artikel ist in Teilen eine Übersetzung eines Papiers, das im Juni 2017 auf dem ENISA Annual Privacy Forum in Wien vorgestellt wird [MH17]. Neu hinzugekommen sind die juristischen Betrachtungen in Abschnitt 6.

doi:10.18420/in2017_107

Das PrivacyScore-Projekt soll diese Lücke schließen. In Kooperation mit Datenschutz-Aufsichtsbehörden und -Aktivisten entwickeln wir derzeit ein System, das die automatische Analyse und den Vergleich der Sicherheits- und Privatheitseigenschaften von Webseiten ermöglicht (*Benchmark*). Wir haben drei Zielgruppen: *Endnutzerinnen*, die sich über die Sicherheit und Privatheit bestimmter Webseiten informieren möchten, *Wissenschaftlerinnen*, die große Mengen von Webseiten untersuchen wollen, und *Aktivistinnen und Aufsichtsbehörden*, die die Erfüllung von gesetzlichen Datenschutz-Mindeststandards durch Webseiten sicherstellen wollen. Unsere Ideen und Realisierungsansätze haben wir erstmalig in [MH17] vorgestellt. Im vorliegenden Papier betrachten wir zusätzlich die juristische Zulässigkeit der Erhebung der Daten und der Veröffentlichung von Benchmarks sowie die juristische Verwertbarkeit der Ergebnisse.

In Abschnitt 2 stellen wir verwandte Arbeiten vor, bevor wir in Abschnitt 3 die PrivacyScore-Plattform präsentieren. Die durchgeführten Tests werden in Abschnitt 4 beschrieben. In Abschnitt 5 betrachten wir ethische Fragestellungen. Im Anschluss daran erörtern wir in Abschnitt 6 die Zulässigkeit aus juristischer Sicht. Abschnitt 7 enthält Schlussbemerkungen.

2 Verwandte Arbeiten

Mehrere Dienste erlauben eine automatisierte Untersuchung von Webseiten. Die meisten Angebote konzentrieren sich auf die Sicherheit der verschlüsselten Verbindung zu einer Webseite, etwa *Qualys* (https://www.ssllabs.com/ssltest/) und *Mozilla* (https://observatory.mozilla.org/). Darüber hinaus existieren Dienste, welche das Vorhandensein der relativ neuen HTTP-Security-Header überprüfen (etwa https://securityheaders.io/). Privatheitseigenschaften von Webseiten betrachtet *Webbkoll* (https://webbkoll.dataskydd.net/en/).

Daneben gibt es Vorhaben, die eine festgelegte Liste von Webseiten untersuchen. So untersucht Helme regelmäßig die Verwendung der HTTP-Security-Header auf allen Webseiten der „Alexa Top 1 Million“[4] und die schwedische Datenschutzorganisation *dataskydd.net* sucht auf den Webseiten schwedischer Kommunen nach Privatheitsproblemen.[5] Im akademischen Umfeld gab es eine Reihe von Studien, die Aspekte der Sicherheit [Ho16, Ma16] und Privatheit [EN16] auf beliebten Webseiten untersuchen. Die Ergebnisse solcher einmalig durchgeführten Studien veralten jedoch recht schnell. Insgesamt ist festzustellen, dass es bislang nicht ohne Weiteres möglich ist, aktuelle Benchmarks zu erstellen.

3 PrivacyScore im Überblick

In diesem Abschnitt beschreiben wir die wichtigsten Funktionen des PrivacyScore-Systems. Eine Übersicht über die wichtigsten Anwendungsfälle und Datenstrukturen gibt Abb. 1. PrivacyScore ist ein Webdienst, der im Auftrag seiner Nutzerinnen andere Webseiten

[4] https://scotthelme.co.uk/alexa-top-1-million-analysis-feb-2017
[5] https://dataskydd.net/kommuner-201704/

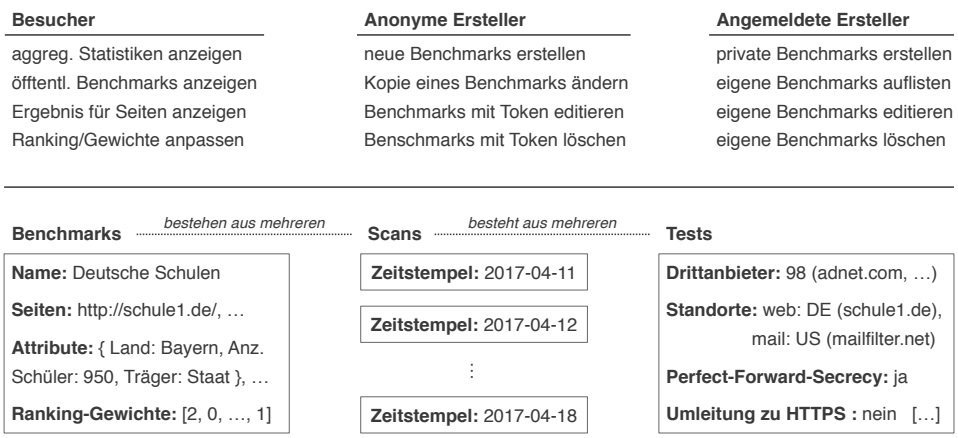


Abb. 1: Anwendungsfälle und Datenstrukturen

analysiert. Wie bei anderen Diensten können einzelne Seiten analysiert werden. Bei PrivacyScore liegt der Fokus jedoch auf der Erstellung von *Benchmarks*, in denen miteinander verwandte Webseiten verglichen werden. Ein Benchmark kann etwa die Seiten aller Firmen einer Branche enthalten oder (im Fall einer Datenschutz-Aufsichtsbehörde) die Seiten aller Organisationen, die unter ihre Aufsicht fallen.

Nachdem ein Benchmark erstellt wurde, wird er an die Scan-Komponente übergeben, die die Seiten auf mehreren virtuellen Maschinen scannt. Die Ergebnisse werden auf der PrivacyScore-Webseite veröffentlicht. Dort können Webseiten in einem Ranking miteinander verglichen und Detailergebnisse für einzelne Seiten abgerufen werden. Optional werden die Seiten jedes Benchmarks regelmäßig erneut gescannt. Frühere Ergebnisse werden zur Dokumentation der zeitlichen Entwicklung aufbewahrt (*Historie*).

PrivacyScore kann mit oder ohne Anmeldung verwendet werden. Angemeldete Nutzerinnen können ihre Benchmarks in ihrem Account speichern und haben leichteren Zugriff auf administrative Funktionen. Darüber hinaus können sie ihre Benchmarks als privat markieren.

Flexibilität durch Nutzerorientierung PrivacyScore bietet zwei Funktionen, um sich an die Bedürfnisse der Nutzerinnen anzupassen: nutzerdefinierte Attribute und nutzerdefinierte Bewertungsschemata. *Nutzerdefinierte Attribute* erlauben es, die Liste von URLs mit frei definierbaren Attributen zu versehen, um verschiedene Klassen von Webseiten (z. B. gesetzliche und private Krankenkassen) voneinander zu unterscheiden und Zusammenhangsanalysen durchzuführen. Die Attribute werden beim Erstellen des Benchmarks festgelegt, können aber im Nachhinein modifiziert werden. *Nutzerdefinierte Bewertungsschemata* ermöglichen das Verändern der Bewertungskriterien für die Webseiten. Die Bewertung wird aus den Ergebnissen der verschiedenen Tests berechnet – da Nutzerinnen allerdings

unterschiedliche Prioritäten haben können, welche Tests ihnen wichtig erscheinen, ist es wichtig, ihnen die Möglichkeit zu geben, die Gewichtung der Tests zu beeinflussen. Das verwendete Bewertungsschema kann jederzeit modifiziert werden, wobei entweder aus einer Liste vordefinierter Schemata ausgewählt oder ein neues Schema definiert werden kann. Aus der gewichteten Bewertung können verschiedene vereinfachte Darstellungen (Schulnoten, Ampel, etc.) abgeleitet werden, die eine schnelle Bewertung der Ergebnisse erlauben. Datenschutz-Aufsichtsbehörden können mit dieser Funktion vermutete Fälle von Nicht-Konformität mit rechtlichen Vorgaben für eine weitere Untersuchung markieren.

Offene Daten und Vertraulichkeit PrivacyScore erzeugt Transparenz und Aufmerksamkeit, indem es auf Sicherheits- und Privatheitsprobleme hinweist. Um die Verbreitung der Ergebnisse zu erleichtern, werden sie nicht nur für Menschen lesbar aufbereitet, sondern auch über eine Schnittstelle in maschinenlesbarer Form veröffentlicht.

Um die Daten von als *privat* markierten Benchmarks angemessen zu schützen, werden alle Tests von Servern unter unserer Kontrolle durchgeführt, d. h. die URLs der untersuchten Webseiten und die Scan-Ergebnisse werden nicht an andere Dienstanbieter übermittelt. Professionelle Anwender wie Datenschutz-Aufsichtsbehörden haben jedoch u. U. noch strengere Anforderungen an Sicherheit und Vertraulichkeit. Diese Anforderungen können umgesetzt werden, indem sie eine eigenständige PrivacyScore-Instanz in ihrer eigenen Infrastruktur betreiben. Um dies zu ermöglichen wird der Programmcode von PrivacyScore im Sommer unter einer freien Lizenz veröffentlicht. Dies kommt auch der Weiterentwicklung von PrivacyScore zu Gute, da es Dritten die Möglichkeit gibt, neue Tests beizusteuern.

Implementation PrivacyScore befindet sich aktuell im *Alpha*-Stadium, ein Prototyp ist unter https://privacyscore.org/ abrufbar. Für die Tests nutzen wir etablierte Tools wie *OpenWPM* [EN16] und *testssl.sh* (https://testssl.sh). Weitere Details finden sich in [MH17].

4 Sicherheits- und Privatheitstests

Im Folgenden stellen wir einen Teil der Tests vor, die in [MH17] beschrieben sind. Unsichere Webseiten setzen ihre Besucherinnen Risiken aus, etwa dem Abhören durch bösartige WLAN-Betreiber. Unsere **Sicherheitstests** prüfen, ob Seitenbetreiber anerkannte Methoden zur Absicherung ihrer Webseite und des Datenverkehrs verwenden. PrivacyScore prüft u. a., ob Transport-Layer-Security (TLS) korrekt eingesetzt wird, d. h. ob geeignete Protokollversionen, kryptographische Verfahren und HTTP-Header wie HTTP Strict Transport Security (HSTS) verwendet werden. Darüber hinaus werden die Mailserver überprüft, indem u. a. Verfügbarkeit und Güte der Transportverschlüsselung (STARTTLS) abgeklärt wird. Untersucht werden auch die Einträge im Domain-Name-System (DNS), insbesondere die Verwendung von DNSSEC, und die Aktualität der Server-Software, sofern feststellbar.

Privatheitstests untersuchen hingegen, ob eine Webseite aktiv die Privatheit ihrer Besucherinnen verletzt oder gefährdet, etwa durch die Verwendung von Analyse- und Werbediensten. PrivacyScore erkennt diese Dienste in einem zweistufigen Verfahren: Zunächst werden auf einer Webseite alle von externen Anbietern eingebetteten Ressourcen gesammelt. Diese werden in einem zweiten Schritt dann mit einer Liste bekannter Werbe- und Analysedienste abgeglichen. PrivacyScore wird außerdem eine Reihe von Tracking-Technologien erkennen (insbesondere Cookies, Flash-Cookies, und Browser-Fingerprinting).

Viele Webseiten nutzen Content-Distribution-Networks (CDNs), um die Zuverlässigkeit und Geschwindigkeit ihrer Webseite zu optimieren. Diese Dienste können allerdings ebenfalls eine Gefahr für die Privatheit und Sicherheit darstellen.[6] PrivacyScore versucht daher die Verwendung von CDNs zu erkennen. Eine weitere relevante Information ist der *Ort*, an dem eine Webseite betrieben wird. Interessant ist hier vor allem die Einbindung nicht-europäischer Dienstanbieter, da ein Seitenbetreiber in diesem Fall möglicherweise zusätzliche Pflichten zu erfüllen hat.

Anschaulichkeit und Handlungsempfehlungen Die identifizierten Probleme werden mit den daraus resultierenden Bedrohungen veranschaulicht. So ist etwa das Abhören verschlüsselter Kommunikation durch einen WLAN-Betreiber möglich, wenn eine Seite kein HSTS verwendet (*SSL-Stripping*-Angriff). PrivacyScore hilft den Seitenbetreibern aber auch, die Probleme zu beheben. Dazu werden wir Konfigurationshilfen für beliebte Webserver und lokale Analysesysteme wie *Piwik*[7] auflisten. Wo dies nicht möglich ist, liefern wir Nutzerinnen Hinweise zum Selbstdatenschutz, z. B. durch die Installation von Browser-Add-ons, die Werbenetzwerke und Tracker blockieren.

5 Ethische Fragestellungen

Der automatische Abruf von Webseiten ist eine weitverbreitete Praxis (vgl. Suchmaschinen und z. B. https://archive.org/). Dennoch ist die Analyse von Seiten mit PrivacyScore aus ethischer Sicht nicht völlig unbedenklich, da sie über ein bloßes Abrufen einer Seite hinausgeht. Insbesondere die TLS-Tests belasten die Infrastruktur des Anbieters, da sie eine hohe Anzahl an Verbindungen aufbauen. Wir erachten dies für vertretbar, da das Anbieten einer Webseite die Absicht impliziert, sie zum Abruf zur Verfügung zu stellen. Des Weiteren gehen wir davon aus, dass das öffentliche Interesse an den Ergebnissen i. d. R. die (meist vernachlässigbaren) Kosten für den Seitenbetreiber überwiegt.

Nichtsdestotrotz müssen wir sicherstellen, dass durch unsere Untersuchungen die Verfügbarkeit einer Seite nicht beeinträchtigt wird. Um zu verhindern, dass PrivacyScore unabsichtlich oder absichtlich zu einem Seitenausfall führt, setzen wir ein Rate-Limiting-System ein: Ein erneuter Scan einer Webseite kann erst nach 30 Minuten erfolgen.

[6] https://blog.cloudflare.com/incident-report-on-memory-leak-caused-by-cloudflare-parser-bug/
[7] https://piwik.org

6 Rechtliche Fragestellungen

Automatisiertes Scannen von Webseiten im Internet wirft eine Reihe von Rechtsfragen in verschiedenen Rechtsbereichen auf. In diesem Abschnitt sollen exemplarisch die Rechtsfragen der Zulässigkeit einer Untersuchung, der Bewertung der Untersuchungsergebnisse und ihrer Veröffentlichung untersucht werden.

Zulässigkeit der automatisierten Untersuchung von Webseiten Das Auslesen fremder Webseiten ohne die ausdrückliche Zustimmung des Betreibers ist nicht grundsätzlich unzulässig. Zuerst stellt sich allerdings die Frage, wem die zu untersuchenden Daten „gehören", denn wäre jemand Eigentümer dieser Daten, könnte er diese nutzen und über sie verfügen und andere gemäß § 903 des Bürgerlichen Gesetzbuches (BGB) gerade von dieser Nutzung ausschließen. Die Begründung von Eigentum kann gem. § 903 BGB nur an Sachen i. S. v. § 90 BGB bestehen. Da es Daten bereits an der körperlichen Eigenschaft fehlt, kann es weder ein Eigentumsrecht an Daten noch ein aus Eigentum abgeleitetes Recht auf die ausschließliche Nutzung von Daten geben [Ze15]. Dennoch können Daten unter verschiedenen gesetzlichen Voraussetzungen vor dem Zugriff und der Verwertung durch Dritte geschützt sein. Daten unterliegen einer Kommunikationsordnung, welche sich aus Regelungen in diversen Rechtsgebieten zusammensetzt und Umgangsrechte, Verfügungsberechtigungen und -beschränkungen hinsichtlich der Daten gewährt, ohne dabei eine Güterzuweisung vorzunehmen [Ro14, Ro17]. Relevant werden können, soweit Gegenstand personenbezogene Daten von natürlichen Personen sind, Regelungen aus dem Datenschutzrecht, auch Regelungen aus dem Urheberrecht, sofern es sich um persönliche geistige Schöpfungen handelt, weiterhin auch einzelne Regelungen aus dem Strafgesetzbuch (StGB) oder dem Gesetz gegen den unlauteren Wettbewerb (UWG). Darüber hinaus ist auch ein deliktischer Abwehranspruch gegen Störungen aus dem Recht am eingerichteten und ausgeübten Gewerbebetrieb i. S. v. § 823 Abs. 1 BGB denkbar.

Einige Webseitenbetreiber verbieten in ihren Nutzungsbedingungen das automatisierte Durchsuchen und Auswerten der von ihnen zur Verfügung gestellten Daten. Während manche deutsche Gerichte ein hierzu berechtigendes „virtuelles Hausrecht" generell bejahen[8] oder dies von der Art der Webseitenausgestaltung abhängig machen,[9] spricht gegen die Übertragung der Befugnis zur Ausübung des Hausrechts von Räumen und Grundstücken auf Webseiten die nicht vergleichbare Interessenlage, da ursprünglich gerade absolute Rechtspositionen wie Besitz und Eigentum Gegenstand des Schutzes sein sollten und der Zweck einer Webseite gerade darin besteht, sie potentiellen Nutzerinnen zu öffnen und von diesen zur Kenntnis genommen zu werden.[10] Dem Webseitenbetreiber steht es dennoch frei, die Befugnisse über die von ihm zur Verfügung gestellten Daten im Rahmen vertraglicher Vereinbarungen zu regeln. Rechtlich verbindlich wird die jeweilige

[8] LG Hamburg v. 28.08.2008, Az. 315 O 326/08.

[9] OLG Köln v. 25.08.2000, Az. 19 U 2/00; LG Ulm v. 13.01.15, Az. 2 O 8/15; OLG Hamm v. 10.06.2008, Az. 4 U 37/08.

[10] OLG Frankfurt v. 05.03.2009, Az. 6 U 221/09; OLG Hamburg v. 24.10.2012, Az. 5 U 38/10.

Vorgabe in den Nutzungsbedingungen aber nur dann, wenn zuvor eine Registrierung und damit ein Vertragsschluss unter ausdrücklicher Anerkennung der Nutzungsbedingungen erfolgt.[11] Ist der Zugang dagegen auch ohne Anmeldung möglich, kommt den jeweiligen Nutzungsbedingungen ebenso wie allen einseitigen Erklärungen über gewollte Nutzungsbeschränkungen keine verbindliche Rechtswirkung für nicht registrierte Besucherinnen der Webseite zu.[12] Eine solche technisch-automatisierte Registrierung unter Anerkennung der gestellten Nutzungsbedingungen durch die PrivacyScore-Technik ist nicht vorgesehen.

Ein Großteil der PrivacyScore-Tests basiert lediglich auf Metadaten, die beim Abruf einer Seite entstehen. Einige Tests profitieren jedoch von einer Analyse des Quelltexts einer Seite. Ausnahmsweise könnten ausschließliche Nutzungsrechte am Quelltext dadurch entstehen, dass diesem urheberrechtlicher Schutz zukommen würde. In diesem Fall müssten betroffene Webseitenbetreiber die Datenverwendung nicht dulden und hätten entsprechende Unterlassungs- und Schadensersatzansprüche. Dies ist davon abhängig, ob die Webseite als Werk i. S. v. § 2 Abs. 1 UrhG oder als eine geschützte Datenbank i. S. v. § 4 Abs. 2 UrhG qualifiziert werden kann. Hierfür ist notwendig, dass die Gestaltung der Webseite die „geistige Schöpfungshöhe“ i. S. v. § 2 Abs. 2 UrhG erreicht. Dies kann nur im Einzelfall beurteilt werden. Regelmäßig ist der Quelltext der Webseite jedoch nicht urheberrechtlich geschützt, da die Rechtsprechung die nötige besondere „schöpferische Höhe“ i. S. v. § 2 Abs. 2 UrhG für Webseiten nur in wenigen Ausnahmefällen anerkennt.[13] Auch, wenn die Datenbank als geistiger Schöpfungsakt nicht urheberrechtlich geschützt ist, kann für den Hersteller der Datenbank nach § 87b Abs. 1 Satz 1 UrhG ein Leistungsschutzrecht bestehen. Ginge man davon aus, dass die im Quelltext enthaltenen Informationen eine Sammlung von Daten i. S. v. § 87a UrhG enthalten, käme es für die Annahme eines Leistungsschutzrechts weiterhin darauf an, ob beim Betreiber eine wesentliche Investition zur Erstellung erforderlich war. Allerdings räumt § 87b Abs. 1 Satz 1 UrhG ein Recht auf Untersagung der Nutzung nur ein, soweit die Nutzerin wesentliche Teile der Datenbank durchsucht. Soweit die Webseite, wie bei PrivacyScore, lediglich auf deren technische Umsetzung untersucht wird, stellen diese Informationen keine wesentlichen Teile der Datenbank dar. Für eine nach § 87b Abs. 1 Satz 2 UrhG unzulässige Vervielfältigung, die auch für unwesentliche Teile gilt, fehlt es an einer wiederholten und systematischen Handlung, da sich die Nutzung der Daten durch PrivacyScore im Rahmen einer normalen Auswertung hält. Quelltexte von Webseiten genießen regelmäßig auch keinen Sonderrechtsschutz als Computerprogramme i. S. v. § 2 Abs. 1 Nr. 1, 69a Abs. 1 UrhG. Dies würde eine Folge von Befehlen, denen Auswirkungen auf den Programmablauf zukommen, voraussetzen. Den HTML-Befehlen im Quelltext komme dagegen nur eine beschreibende Funktion zu, um die Darstellung der Inhalte im Browser zu ermöglichen.[14]

Die Untersuchung durch PrivacyScore ist auch wettbewerbsrechtlich unbedenklich, solange

[11] LG München v. 25.10.2006, Az. 30 O 11973/05; OLG Frankfurt v. 05.03.2009, Az. 6 U 221/09.
[12] OLG Frankfurt v. 05.03.2009, Az. 6 U 221/09; OLG Hamburg v. 24.10.2012, Az. 5 U 38/10.
[13] OLG Hamburg v. 29.02.2012, Az. 5 U 10/10; OLG Celle v. 08.03.2012, Az. 13 W 17/12; OLG Rostock v. 27.06.2007, Az. 2 E 12/07.
[14] OLG Rostock v. 27.06.2007, Az. 2 W 12/07; OLG Frankfurt v. 22.03.2005, Az. 11 U 64/04.

es infolge seines Einsatzes nicht zu einer tatsächlichen Störung des Betriebsablaufs der Webseite, etwa einer Beeinträchtigung der Verfügbarkeit, kommt. Andernfalls könnte unter der Voraussetzung der Mitbewerbereigenschaft i. S. v. § 2 Nr. 3 UWG eine unlautere Behinderung i. S. v. § 4 Nr. 4 UWG vorliegen. Wie bereits in Abschnitt 5 dargestellt, wird durch ein Rate-Limiting-System vermieden, dass die Untersuchung durch PrivacyScore negative Auswirkungen auf die Verfügbarkeit des Servers durch technische Überlastung für andere Nutzerinnen haben kann. Eine Störung der Funktionsfähigkeit i. S. v. § 4 Nr. 4 UWG soll damit ausgeschlossen werden. Mit der gleichen Begründung kann auch ein deliktischer Anspruch, gestützt auf eine rechtswidrige Verletzung des Rechts am eingerichteten und ausgeübten Gewerbebetrieb i. S. v. § 823 I BGB, mangels eines betriebsbezogenen Eingriffs, der über eine bloße Belästigung hinausgeht, vermieden werden.

Sofern PrivacyScore zur Untersuchung der Webseite nicht eine vom Berechtigten errichtete „besondere Zugangssicherung“ überwindet, bestehen auch in strafrechtlicher Hinsicht keine Bedenken gegen dessen Einsatz. In Betracht käme allenfalls der Tatbestand des § 202a StGB, welcher Daten schützt, „die gegen unberechtigten Zugang besonders gesichert sind“, indem die Zugangsverschaffung gerade „unter Überwindung der Zugangssicherung“ unter Strafe gestellt wird. Mithilfe von PrivacyScore wird nur der Quelltext der Webseite untersucht, der für jedermann öffentlich zugänglich ist ohne dabei eine Zugangssicherung zu überwinden.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass soweit kein Sonderrechtsschutz besteht und die Webseite rechtlich und technisch frei zugänglich ist, d. h. die Nutzung der zu untersuchenden Daten nicht von der vorherigen Akzeptanz der Nutzungsbedingungen abhängig gemacht und vom Webseitenbetreiber keine technischen Schutzmaßnahmen installiert wurden,[15] das automatisierte Untersuchen der Webseiten durch PrivacyScore zulässig ist.

Rechtliche Bewertung der Untersuchungsergebnisse Die bloße Feststellung des technischen Untersuchungsergebnisses allein ist zur Bewertung der rechtskonformen Gestaltung der Webseite wenig aussagekräftig. Zur tatsächlichen Beurteilung der Rechtskonformität ist immer eine weitergehende Betrachtung des Einzelfalls erforderlich. Dies soll im Folgenden am Beispiel von eingebundenen Analysediensten und fehlender bzw. veralteter Verschlüsselungssoftware dargestellt werden.

Das Einbinden von Analysediensten ist nicht per se nur nachteilhaft für Nutzerinnen, es besteht aber durchaus die Gefahr des Missbrauchs. Die Rechtmäßigkeit von Analysediensten, wie Google Analytics, auf Webseiten wird seit jeher von den Datenschützern kritisch betrachtet, da sie befürchten, dass mittels dieser Analyse umfangreiche Profile über identifizierbare Nutzerinnen angelegt werden könnten. Neben der Zuordnung und Speicherung von Nutzungsdaten (wie die zuletzt besuchte Seite und der verwendete Browser), die zunächst rechtlich unbedenklich sind, ermöglichen zentrale Analysedienste wie Google Analytics die Möglichkeit, die Nutzungsaktivitäten über die ebenfalls abgespeicherte IP-Adresse zusammen zu führen und webseitenübergreifend einer bestimmten Nutzerin zuzuordnen.

[15] BGH v. 22.06.2011, Az. I ZR 159/10; BGH v. 17.03.2003, Az. I ZR 259/00.

Eine datenschutzkonforme Nutzung von Analysediensten wie Google Analytics ist daher nur zulässig, wenn eine Anonymisierung der IP-Adresse – etwa in Form einer Kürzung – gewährleistet wird, da aufgrund dieser Kürzung nach überwiegender Ansicht der Datenschützer[16] der direkte Personenbezug entfalle. Soweit nach der jüngsten Rechtsprechung[17] dynamische IP-Adressen personenbezogene Daten darstellen, dürfen sie nur verarbeitet werden, wenn dies entweder gesetzlich gestattet ist oder die Betroffene eingewilligt hat.

Die gesetzliche Grundlage für den Umgang mit Nutzungsdaten ist derzeit noch das nationale Telemediengesetz (TMG), speziell § 15 Abs. 3 TMG. Nach dieser Vorschrift ist die Erstellung von pseudonymisierten Nutzungsprofilen zu festgelegten Zwecken auch ohne die Einwilligung der betroffenen Nutzerin zulässig, soweit der Nutzerin gem. § 15 Abs. 3 Satz 2 TMG ein Recht zum Widerspruch („Opt-out“) gegen diese Erstellung eingeräumt und sie auf die Möglichkeit des Widerspruchs auch hingewiesen wird.[18] Um beurteilen zu können, ob der Webseitenbetreiber seinen Hinweispflichten ausreichend nachgekommen ist, wäre eine Betrachtung des Impressums und der Datenschutzerklärung notwendig.

Etwas anderes kann sich möglicherweise zukünftig aufgrund des Entwurfs der Verordnung über Privatsphäre und elektronische Kommunikation (e-Privacy-VO-E) ergeben. Nach Art. 8 Abs. 1 des Verordnungsentwurfs, ist „jede vom betreffenden Endnutzer nicht selbst vorgenommene Nutzung der Verarbeitungs- und Speicherfunktionen“ grundsätzlich verboten, es sei denn, der Endnutzer hat seine Einwilligung gegeben oder es greifen die übrigen Ausnahmen von Abs. 1 lit. a–d. Ob unter die Ausnahme nach Art. 8 Abs. 1 lit. d auch externe Analysedienste fallen, hängt von der Auslegung der Einschränkung, „sofern der Betreiber (...) diese Messung durchführt“, ab. Dies könnte problematisch sein, da externe Dienste gerade nicht identisch mit dem Webseitenbetreiber sind, der den vom Endnutzer gewünschten Dienst anbietet. Die Folge wäre, dass zukünftig das Nutzen von Analysediensten generell von der vorherigen Einwilligung („Opt-in“) der betroffenen Nutzerin abhängig wäre. Zudem hätten Nutzerinnen zukünftig gem. Art. 9 Abs. 3 des Verordnungsentwurfs ein jederzeitiges Widerrufsrecht bezüglich der einmal erteilten Einwilligung, an das sie halbjährlich erinnern werden müssten. Im Übrigen würden sich die Anforderungen der Einwilligung gem. Art. 9 Abs. 1 des Verordnungsentwurfs nach Art. 7 und 4 Nr. 11 DSGVO richten.

Ähnlich stellt es sich bei fehlender Verschlüsselungssoftware dar, da eine generelle Verschlüsselungspflicht für Webseitenbetreiber nicht ausdrücklich normiert ist. Vorschriften zur Datensicherheit finden sich derzeit u. a. in § 9 Bundesdatenschutz (BDSG) und dessen Anlage sowie im für Telemedien spezielleren § 13 Abs. 7 TMG. Da die Datenschutz-Grundverordnung (DSGVO) und die e-Privacy-VO als europäische Verordnungen gem. § 288 Abs. 2 AEUV mit Geltungsbeginn am 25.5.2018 unmittelbar in den Mitgliedsstaaten anwendbar sein werden, werden sie diese nationalen Regelungen im Rahmen des Anwendungsvorrangs verdrängen. Aus Erwägungsgrund 5 des Entwurfs der e-Privacy-VO geht hervor, dass diese

[16] Beschluss des Düsseldorfer Kreises vom 26./27.11.2009 über die „datenschutzkonforme Ausgestaltung von Analyseverfahren“.
[17] BGH v. 16.05.2017, Az. VI ZR 135/13; EuGH v. 19.10.2016, Az. C-582/14.
[18] BGH v. 16.07.2008, Az. VIII ZR 348/06.

gegenüber der DSGVO spezieller sein soll, wenn ihr Anwendungsbereich betroffen ist. Gleichzeitig verweist Erwägungsgrund 37 des Verordnungsentwurfs hinsichtlich der Bewertung der Datensicherheit auf Art. 32 DSGVO, in dem i. V. m. Art. 5 Abs. 1 lit. f DSGVO die Datensicherheit als allgemeiner Grundsatz normiert ist. Art. 32 DSGVO verpflichtet den Verantwortlichen (Art. 4 Nr. 7 DSGVO) sowie den Auftragsverarbeiter (Art. 4 Nr. 8 DSGVO) „geeignete technische und organisatorischen Maßnahmen" zur Herstellung eines „angemessenen Datenschutzniveaus" zu gewährleisten. Neben der Pseudonymisierung nennt der Normgeber in Art. 32 Abs. 1 lit. a DSGVO auch die Verschlüsselung als eine der bevorzugten Maßnahmen. Ebenso wie die Pseudonymisierung, ist die Verschlüsselung jedoch nicht in jedem Einzelfall zwingend geboten. Welche Maßnahmen sich als erforderlich und angemessen erweisen, um ein „dem Risiko angemessenes Schutzniveau zu gewährleisten", muss vielmehr im Rahmen einer Gesamtabwägung an das Einzelfallrisiko angepasst werden. Hierfür ist im Rahmen des Art. 32 Abs. 1 DSGVO neben der Schwere und Eintrittswahrscheinlichkeit des Risikos für die Rechte und Freiheiten der von der Verarbeitung Betroffenen, das sich insbesondere an der Schutzbedürftigkeit der einzelnen gespeicherten personenbezogenen Daten orientiert, auf der anderen Seite sowohl das technisch Machbare nach dem „Stand der Technik" als auch die wirtschaftliche Belastung des Verarbeiters, insbesondere die Implementierungskosten, mit einzubeziehen. Lediglich das wirtschaftlich Zumutbare wird erwartet. Dies kann im Einzelfall auch dazu führen, dass ein Verantwortlicher keine Maßnahmen ergreifen muss.

Rechtliche Herausforderungen hinsichtlich der Veröffentlichung der Ergebnisse Auf der PrivacyScore-Webseite können sowohl Detail-Ergebnisse für einzelne Webseiten als auch vergleichende Rankings eingesehen werden. Bei den Detail-Ergebnissen handelt es sich um Tatsachenbehauptungen, die überprüfbar und damit dem Beweis zugänglich sind. Die erstellten Rankings dürften hingegen auf diesen Tatsachen beruhende Werturteile darstellen. Beide sind nach ständiger Rechtsprechung gleichermaßen von der Meinungsfreiheit aus Art. 5 Abs. 1 GG umfasst, soweit es sich um wahre Tatsachen handelt.[19] Die zugehörigen Scan-Rohdaten werden dazu (soweit zulässig) archiviert.

Da mit der Veröffentlichung nachteiliger Bewertungen auch negative Auswirkungen für den Webseitenbetreiber, wie Imageverluste, verbunden sein können, stellt sich die Frage, unter welchen Voraussetzungen sich Betreiber gegen die Veröffentlichung wehren können.

Veröffentlichungen über Tatsachen und Werturteile sind solange zulässig und von den Bewerteten hinzunehmen, wie sie keinen rechtswidrigen Eingriff in das Persönlichkeitsrecht des Betreibers darstellen. Ein solcher ist anzunehmen, wenn im Rahmen einer Abwägung das Schutzinteresse des von der Äußerung Betroffenen auf Schutz seiner Persönlichkeit aus Art. 1 Abs. 1 GG i. V. m. Art. 2 Abs. 1 GG, die schutzwürdigen Belange an der Veröffentlichung aus Art. 5 Abs. 1 GG überwiegen. Für inländische Unternehmen kann sich ein Persönlichkeitsrecht aus Art. 2 Abs. 1 GG i. V. m. Art. 19 Abs. 3 GG und Art. 12 Abs. 1

[19] BVerfG v. 09.10.1991, Az. 1 BvR 1555/88; BVerfG v. 13.04.1994, Az. 1 BvR 23/94.

GG ergeben. Dies gilt jedoch nur in abgeschwächter Form, da Unternehmen und Unternehmer, die sich bewusst nach außen hin darstellen, kritische Bewertungen eher hinnehmen müssen.[20] Juristische Personen des öffentlichen Rechts sind grundsätzlich nicht Träger von Persönlichkeitsrechten, ein zivilrechtlicher Schutz steht ihnen daher nur mittelbar zu, sofern sie Adressat strafbarer Äußerungen i. S. v. §§ 185 ff. StGB werden und die konkrete Aussage geeignet ist, die Behörde in ihrer Funktion zu beeinträchtigen.

Eine Beurteilung eines rechtswidrigen Eingriffs unter Abwägung der Interessen ist grundsätzlich nur im Einzelfall möglich. Die Veröffentlichung einer kritischen Bewertung der Webseite kann für den Betroffenen zu einer Rufbeeinträchtigung führen und ihn nicht unerheblich belasten. Da die untersuchten Webseiten aber öffentlich sind, werden diese regelmäßig der Sozialsphäre des Betroffenen zuzuordnen sein, d. h. beruflichen, politischen oder ähnlichen Tätigkeiten, in denen Menschen im sozialen Austausch stehen. Beeinträchtigungen in diesem Bereich unterliegen zumeist einem schwachen Schutz. Im Rahmen der Interessenabwägung bei betroffenen Unternehmern betont die Rechtsprechung[21] regelmäßig das Informationsinteresse der Allgemeinheit. Insbesondere vor dem Hintergrund der freien Wahl, die untersuchten Webseiten je nach Ergebnis zu nutzen oder dies zu vermeiden, ist das Interesse der Öffentlichkeit an den Informationen über privatrechtliche Risiken beim Besuch der Webseiten nicht unerheblich. Ein Recht des Betroffenen wird daher regelmäßig nicht das Kommunikationsinteresse überwiegen. Bei Privatpersonen wird im Rahmen der Interessenabwägung häufig zusätzlich auf die Breitenwirkung der Äußerung abgestellt: je größer der Adressatenkreis, desto belastender die Äußerung.[22] Eine Risikoreduzierung für den Betroffenen könnte in diesen Fällen dadurch erreicht werden, dass die Ergebnisse nur einem beschränkten Adressatenkreis zur Verfügung zu stellen.

Aus Art. 17 Abs. 1 DSGVO könnte dem Betroffenen in diesem Zusammenhang ein Löschungsanspruch zustehen, soweit die gespeicherten Daten personenbezogen sind und deren Speicherung unzulässig ist. Eine Datenverarbeitung ist gem. Art. 5 Abs. 1 lit. a und Art. 6 Abs. 1 DSGVO dann rechtmäßig, wenn eine Einwilligung des Betroffenen vorliegt, was regelmäßig nicht der Fall sein wird, oder eine andere Bedingung des Art. 6 Abs. 1 DSGVO erfüllt ist. In Betracht käme als Erlaubnistatbestand Art. 6 Abs. 1 UAbs. 1 lit. f DSGVO. Dazu müsste die Verarbeitung der Daten „zur Wahrung der berechtigten Interessen des Verantwortlichen oder eines Dritten erforderlich“ sein, „sofern nicht die Interessen oder Grundrechte der betroffenen Person überwiegen“. Im Rahmen der durchzuführenden Interessenabwägung kann aufgrund der eben angeführten Argumente regelmäßig ein Überwiegen des Kommunikationsinteresses gegenüber dem Recht des Betroffenen auf informationelle Selbstbestimmung angenommen und ein Löschungsanspruch verneint werden.

Sofern sich die negative Bewertung im Rahmen von Art. 5 Abs. 1 GG bewegt, scheiden auch wettbewerbsrechtliche Ansprüche gem. § 4 Nr. 1 und 2 i. V. m. § 8 UWG aus.

[20] BGH v. 29.01.2002, Az. VI ZR 20/01.
[21] BGH v. 23.09.2014, Az. VI ZR 358/13; BGH v. 23.06.2009, Az. VI ZR 196/08; OLG Hamburg v. 18.01.2012, Az. 5 U 51/11.
[22] BGH v. 23.06.2009, Az. VI ZR196/08.

7 Schlussbemerkungen

Der sichere und datenschutzfreundliche Betrieb einer Webseite ist aufwändig, meist mit zusätzlichen Kosten verbunden oder nicht mit dem Geschäftsmodell eines Seitenbetreibers vereinbar. Daher ist das Sicherheits- und Privatheitsniveau vieler Webseiten derzeit unzureichend. Das Ziel des PrivacyScore-Projekts besteht darin, Transparenz herzustellen und Öffentlichkeit zu generieren. PrivacyScore erstellt dazu automatisierte Vergleiche der Sicherheits- und Privatheitseigenschaften mehrerer Webseiten und zeigt die Ergebnisse in Form von regelmäßig aktualisierten Ranglisten an. Sowohl die zu überprüfenden Webseiten als auch die Bewertungskriterien können dabei von den Nutzerinnen festgelegt werden.

Juristisch ist die Verwendung von PrivacyScore in seiner aktuell geplanten Form zulässig, soweit die untersuchte Webseite frei zugänglich ist und kein Sonderrechtsschutz besteht. Die Veröffentlichung der Ergebnisse ist vom Schutz der Meinungsfreiheit umfasst, sofern diese keine unwahren oder beleidigenden Äußerungen enthalten. Regelmäßig ist auch keine Einwilligung des Betreibers der untersuchten Webseite erforderlich.

PrivacyScore ist Open-Source-Software. Das System kann daher auch innerbetrieblich eingesetzt werden und beispielsweise die Arbeit von Datenschutz-Aufsichtsbehörden unterstützen. Die auf der öffentlich angebotenen PrivacyScore-Seite erzeugten Datensätze werden darüber hinaus als Rohdaten für Forschungszwecke zur Verfügung gestellt.

Danksagung Teile dieser Arbeit wurden in Forschungsteilbereichen C.1 und C.2 innerhalb des GRK 2050 „Privacy and Trust for Mobile Users“ durch die DFG finanziert.

Literaturverzeichnis

[EN16] Englehardt, S.; Narayanan, A.: Online tracking: A 1-million-site measurement and analysis. In: CCS. ACM, 2016.

[Ho16] Holz, R.; Amann, J.; Mehani, O.; Kâafar, M.A.; Wachs, M.: TLS in the Wild: An Internet-wide Analysis of TLS-based Protocols for Electronic Communication. In: NDSS. 2016.

[Ma16] Mayer, W.; Zauner, A.; Schmiedecker, M.; Huber, M.: No Need for Black Chambers: Testing TLS in the E-mail Ecosystem at Large. In: ARES. IEEE, S. 10–20, 2016.

[MH17] Maass, M.; Herrmann, D.: PrivacyScore: Improving Privacy and Security via Crowd-Sourced Benchmarks of Websites. Annual Privacy Forum. https://arxiv.org/abs/1705.05139, 2017.

[Ro14] Roßnagel, A.: Fahrzeugdaten – wer darf über sie entscheiden? Zuordnungen – Ansprüche – Haftung. Straßenverkehrsrecht (SVR), 8:181–187, 2014.

[Ro17] Roßnagel, A.: Rechtsfragen eines Smart Data-Austauschs – Datengetriebene Kooperation in der Industrie. Neue Juristische Wochenschrift (NJW), 70:10–15, 2017.

[Ze15] Zech, H.: Industrie 4.0 – Rechtsrahmen für eine Datenwirtschaft im digitalen Binnenmarkt. GRUR, S. 1151–1160, 2015.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 1061

Herausforderungen bei der Entwicklung von Anwendungen zum Selbstdatenschutz

Sascha Alpers[1], Maria Pieper[1] und Manuela Wagner[2]

Abstract: Durch zunehmende Vernetzung steigt die Notwendigkeit, Betroffene in der Ausübung ihres Privatsphärenschutzes zu unterstützen. Wenn technische Lösungen dabei in die Integrität urheberrechtlich geschützter Computerprogramme eingreifen oder Geschäftsmodelle „Dienst gegen Daten“ vereiteln, stellt sich die Frage der urheber- und lauterkeitsrechtlichen Bewertung im Spannungsverhältnis zum Selbstdatenschutz. In diesem Beitrag werden die rechtlichen Herausforderungen, auch im Hinblick auf aktuelle Vorschläge der Datenökonomisierung, beleuchtet und mit einem Exkurs zu den Anforderungen der intelligenten Bereitstellung generierter Daten zur Verschleierung persönlicher Informationen abgeschlossen.

Keywords: Selbstdatenschutz, Bearbeitungsrecht, Wettbewerbsbehinderung

1 Einleitung

Die Digitalisierung des Alltags erfordert technische Unterstützung zum Selbstdatenschutz, um für Betroffene den Aufwand des Privatsphärenschutzes handhabbar zu gestalten. Obwohl Bürgerbefragungen die Skepsis gegenüber datengetriebenen Geschäftsmodellen aufzeigen [Bi16], geben Nutzer gegenüber unterschiedlichen Diensten ihre Daten preis. (Ein Indiz für dieses widersprüchliche Nutzerverhalten ist bspw. der wachsende Big-Data-Wirtschaftssektor.[3]) Dieses Privacy-Paradoxon [No07] könnte u. a. mit dem Aufwand Privatsphärenrisiken adäquat einzuschätzen oder der Schwierigkeit privatsphärenschützende Alternativen zu nutzen, zusammenhängen [Wh14, S. 14 f.]. Daher dürfte der Erfolg von Datenschutzlösungen auch von der Usability abhängen. Da ein Wechsel zu datenschutzfreundlichen Angeboten aufgrund von Netzwerkeffekten [We11] oft mit Einbußen (z. B. digitaler Isolation) verbunden ist, sollen Selbstdatenschutzlösungen die Teilhabe am digitalen sozialen und kulturellen Leben ermöglichen, ohne auf Privatsphärenschutz verzichten zu müssen. Hierbei können Filtermechanismen die rechtswidrige Weitergabe personenbezogener Daten Dritter[4] unterbinden.

Die europäische Datenschutzgrundverordnung (DSGVO) enthält die Verpflichtung zu Pri-

[1] FZI Forschungszentrum Informatik, Forschungsbereich Software Engineering, Haid- und Neustraße 10–14, 76131 Karlsruhe, {alpers | pieper}@fzi.de.
[2] Karlsruher Institut für Technologie, Zentrum für Angewandte Rechtswissenschaft, Vincenz-Prießnitz-Str. 3, 76131 Karlsruhe, manuela.wagner@kit.edu.
[3] Der Big-Data-Sektor wächst um 40 % pro Jahr, sieben Mal schneller als der gesamte IT-Markt [Be17, S. 6].
[4] Die Preisgabe von Kontaktdaten Dritter ohne Einwilligung wurde jüngst als deliktische Handlung eingestuft, siehe AG Bad Hersfeld, Beschluss vom 15. Mai 2017 – F 120/17 EASO.

doi:10.18420/in2017_108

vacy by Design und by Default sowie Datenminimierung. Zur Umsetzung datenschutzfreundlicher Voreinstellungen sollten Anbieter von Smartphone-Apps ein dynamisches Datenzugriffsmanagement bereitstellen, um die Datenzugriffe auf das je nach individueller Nutzung notwendige Maß einzuschränken. Im Konflikt hierzu stehen jedoch „Alles-oder-Nichts-Lösungen", bei denen die Abfrage personenbezogener Daten über die Diensterbringung hinaus der Refinanzierung des Angebots dient. Solange Einstellungsmöglichkeiten zur individuellen Datenzugriffseinschränkung noch nicht die Regel sind und Privatnutzern das technische Know-how für effektiven Selbstschutz fehlt, stellt die Entwicklung von Selbstdatenschutzanwendungen eine sinnvolle Möglichkeit dar, privatsphärenschützende Einstellungen technisch durchzusetzen. Zu den technischen Herausforderungen gehören die plattform- und dienstübergreifende Durchsetzung des Selbstdatenschutzes und die damit verbundene Vielzahl an plattform- und dienstspezifischen Schnittstellen. Eine weitere Herausforderung ist die Heterogenität der schützenswerten Daten. Hierzu zählen bspw. Adressbuch und Kalendereinträge, Standortdaten sowie Gesundheitsdaten. In rechtlicher Hinsicht ist das Spannungsverhältnis widerstreitender Grundrechte zu bedenken.[5] Dieser Beitrag widmet sich dem Konflikt zum Urheberschutz von Computerprogrammen sowie technischen Lösungsansätzen (Abschnitt 2). Der Fokus liegt hierbei auf dem Eingriff in die Datenkommunikation. Es werden auch mögliche Implikationen der Datenzugriffsblockade im Zusammenhang mit den aktuellen Diskussionen um die rechtliche Anerkennung von Geschäftsmodellen „Dienst gegen Daten" in Bezug auf den Schutz vor unlauterem Wettbewerb aufgezeigt (Abschnitt 3). Abschließend erfolgt ein Exkurs, der eine Selbstdatenschutzlösung mittels Generierung von falschen Daten und daran anknüpfende rechtliche und technische Anforderungen (Abschnitt 4) skizziert.

2 Selbstdatenschutz im Konflikt mit Urheberrechten?

Einige technische Lösungen unterstützen den Betroffenen beim Selbstdatenschutz. Eine konkrete Analyse am Markt befindlicher Selbstdatenschutzlösungen findet sich in [Al16]. Abb. 1 stellt die gängigen Ansätze gegenüber. Dabei sind Ergänzungen oder Veränderungen an bestehenden Komponenten dunkelblau hervorgehoben. Einige Lösungen entfernen ungewollte Berechtigungen aus der Manifestdatei[6] der zu kontrollierenden App (Abb. 1, li.). Andere Lösungen fügen der App eine eigene Sicherheitsbibliothek hinzu und müssen dazu i. d. R. auch den existierenden Programmcode anpassen, um die Verwendung der Bibliothek zu erzwingen (Abb. 1, Mitte. Blaue Kreise repräsentieren Anpassung am bestehenden Code.). Auch die Veränderung des Betriebssystems ist eine gängige Lösungsstrategie, sodass unerwünschte App-Zugriffsanfragen nicht positiv beantwortet werden (Abb. 1, re.). Sowohl für den zweiten als auch für den dritten Fall werden sog. Sandboxes

[5] Die Durchsetzung des Rechts auf informationelle Selbstbestimmung (Art. 2 Abs.1, 1 Abs. 1 GG) bzw. des Rechts auf Achtung des Privat- und Familienlebens sowie Schutz personenbezogener Daten nach Art. 7, 8 EU-GrundrechteCharta (EU-GrCh) kann insbesondere im Konflikt mit der Berufs- und Eigentumsfreiheit (Art. 12, 14 GG bzw. Art. 15, 16, 17 EU-GrCh) der App-Anbieter stehen.

[6] Teil des Installationspakets einer Anwendung, enthält u. a. Informationen zu angeforderten Berechtigungen einer Anwendung.

eingesetzt. Als Sandbox wird dabei eine Umgebung bezeichnet, welche die Aktionen einer Anwendung gemäß definierter Regeln einschränkt [Bi03]. Durch diese Zugriffsbeschränkung wird das Risiko einer Verletzung der definierten Regeln reduziert [Go96]. Das Konzept stammt aus der IT-Sicherheit, lässt sich aber auf den Selbstdatenschutz übertragen. Soweit diese Lösungen Programmcode verändern, entsteht ein Konflikt zwischen dem Interesse eines umfassenden Privatsphärenschutzes und dem Schutz von Computerprogrammen als geistiges Eigentum.

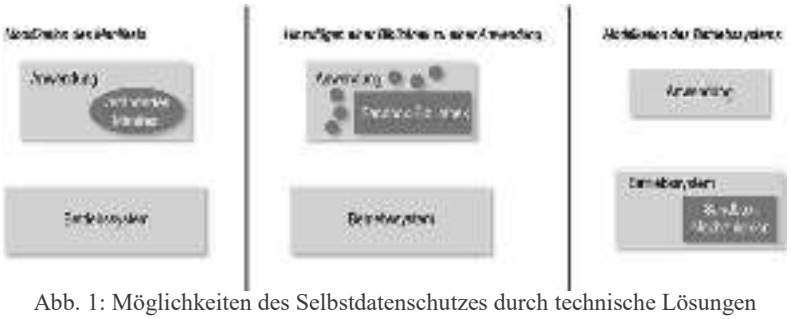


Abb. 1: Möglichkeiten des Selbstdatenschutzes durch technische Lösungen

2.1 Verändern der Programmsubstanz

Computerprogramme sind nach § 69a UrhG geschützt, wenn sie das Ergebnis einer eigenen menschlich-schöpferischen Tätigkeit sind, die einen geistigen Gehalt aufweist und eine ausreichende individuelle, gestalterische Schöpfungshöhe erreicht [DS15, § 69a Rn. 26]. Der Begriff ist weit zu verstehen und kann auch Hilfsprogramme, Programmteile und Schnittstellen umfassen [DS15, § 69a Rn. 12]. Ein eigenständiger Schutz der Manifestdatei erscheint zweifelhaft, da Einträge oft automatisch erfolgen.[7] Über die Eintragslöschung könnte jedoch eine dem Urheber vorbehaltene Umarbeitung der Gesamtanwendung i. S. d. § 69c Nr. 2 UrhG vorliegen. Versteht man ein Computerprogramm als „eine zur Lösung einer Aufgabe vollständige Anweisung, zusammen mit allen erforderlichen Vereinbarungen“[8], ist die Einschränkung oder Ergänzung des Funktionsumfangs durch Entfernung oder Hinzufügen von Programmteilen eine Umarbeitung [Bo13, S. 722]. Das Löschen von Teilen der Manifestdatei oder Hinzufügen einer Sicherheitsbibliothek ist eine Veränderung der Programmsubstanz. Auch Umarbeitungen des jeweiligen Betriebssystems sind lizenzpflichtig, einige Open-Source-Lizenzen erlauben die Bearbeitung [Br14a, S. 547 f.].

[7] Bei autonom generierten Computerprogrammen wird auf die Entwicklung des Ursprungsprogramms zurückgegriffen [DS15, § 69a Rn. 26). Dieses dürfte sich im vorliegenden Fall jedoch eher an der Funktionalität orientieren. Routinemäßig und von einer Vielzahl von Programmierern allgemein genutzte Programmbestandteile sind nicht schutzfähig, solange sich die Gestaltung aus der Natur der Aufgabe und aus rein funktionalen Erwägungen ergibt [DS15, § 69a Rn. 27].

[8] [DS15, § 69a Rn. 12] mit Verweis auf DIN 44 300.

2.2 Eingriff in den Programmablauf

Nach einer Entscheidung des OLG Hamburg soll eine Umarbeitung auch bei einer Veränderung des Programmablaufs vorliegen, ohne dass eine permanente Veränderung der Programmsubstanz selbst erfolgt.[9] Da die Gliederung des Programmablaufs, Anordnung der Programmelemente sowie deren Zusammenwirken geschützt sind[10], könne auch eine externe Software, die „im Ergebnis einen Teil der Steuerung übernimmt", die Ablaufroutine in einer vom Urheber nie vorgesehenen Weise verändern.[11] Die Anpassung an individuelle Benutzerwünsche oder Erweiterungen des Funktionsumfangs stelle eine lizenzpflichtige Umarbeitung dar, da dem Urheber das Customizing zusteht.[12] Das Einspielen „falscher" Daten sei dagegen zulässig, solange die Daten keine Befehle enthalten, die das geschützte Programm kontrollieren oder steuern.[13] Lösungsansätze, die zwar den Code nicht verändern, müssten demnach prüfen, ob die Unterbindung der Datenkommunikation zwischen App und Betriebssystem lediglich als Einspielen „falscher Daten" oder als Eingriff in den Programmablauf zu werten wäre.

Gegen diese weite Interpretation wurde eingewandt, dass die Funktion einer Software nicht vom Urheberrecht geschützt wird [Sp12, S. 417]. In der Nichtansteuerung bestimmter Programme liege lediglich ein Eingriff in deren nach außen in Erscheinung tretende Funktion.[14] Eine zu weite Interpretation der Bearbeitung dürfe nicht die Nutzung vorhandener Schnittstellen unterbinden und die Interoperabilität und Interaktion verschiedener Programme gefährden.[15] Der Schutz vor Umarbeitung rechtfertige es nicht, temporäre Einwirkungen, wie das Unterdrücken von Programmteilen, zu verbieten.[16] Solange eine Einschränkung des Funktionsumfangs nicht durch einen Eingriff in die im Code verkörperte Folge von Befehlen als Schutzgegenstand des § 69a UrhG erfolgt, d. h. ein Eingriff in die Programmsubstanz gegeben ist, läge keine lizenzpflichtige Umarbeitung vor.[17] Dem ist zuzustimmen, da andernfalls die Interaktion verschiedener Programme gefährdet wäre.

2.3 Zulässigkeit von Umarbeitungen

Dienen Codemanipulationen der bestimmungsgemäßen Nutzbarmachung des Computerprogramms, wie die Fehlerberichtigung, sind diese ohne Zustimmung des Urhebers zulässig (§ 69d Abs. 1 UrhG). Zur Ermöglichung einer rechtmäßigen Nutzung könnte die Abwehr rechtswidriger Datenzugriffe als Form der „Mängelbeseitigung" hierunter fallen [Bo13, S. 725], [Br14a, S. 545]. Hierin könnte ein Ausgleich zwischen Daten- und immateriellen Eigentumsschutz gesehen werden. Die Datenschutzkonformität unterliegt jedoch

[9] OLG Hamburg, Urteil vom 13.04.2012 – 5 U 11/11, GRUR-RR 2013, 13, 15 – „*Replay PSP*".
[10] KG Berlin, Urteil vom 17. März 2010 – 24 U 117/08.
[11] OLG Hamburg, (Fn. 9).
[12] OLG Hamburg, (Fn. 9).
[13] OLG Hamburg, Urteil vom 12.03.1998 – 3 U 226/97; OLG Düsseldorf, Urteil vom 12.7.1999 – 20 U 40/99.
[14] Vgl. KG Berlin, Urteil vom 06. September 2010 – 24 U 71/10.
[15] LG Hamburg, Urteil vom 03.05.2016 – 308 O 46/16– Rn. 28.
[16] LG München I, Urteil vom 27. Mai 2015 – 37 O 11673/14 –, Rn. 289.
[17] LG Hamburg, (Fn. 15); LG München I, (Fn. 16).

der Einzelfallprüfung. Dem Nutzer würde das Risiko auferlegt, die Rechtskonformität der App eigenverantwortlich zu prüfen. Für eine umfassende technische Lösung müsste das Recht auf informationelle Selbstbestimmung ein Recht zur (Mit-)Inanspruchnahme von datenschutzkonformen Anwendungen umfassen. Ein prinzipieller Vorrang grundrechtlich geschützter Rechte ist der Verfassung eher fremd, der Ausgleich widerstreitender Freiheitsrechte erfolgt nach dem Grundsatz der Verhältnismäßigkeit im Einzelfall [Le16, S. 775]. Daher dürfte sich ein generelles Recht zur Modifikation fremder Programme kaum über § 69d Abs. 1 UrhG rechtfertigen lassen. Selbst bei weiter Auslegung verbleiben Zweifel, wenn dadurch die Funktionsfähigkeit der App beeinträchtigt wird – die „bestimmungsgemäße Benutzung" wäre dann gerade nicht hergestellt. Selbstdatenschutzlösungen sollten daher keine Umarbeitung erfordern, um ohne urheberrechtliche Bedenken für sämtliche Apps eines Nutzers angewandt werden zu können.

2.4 Lösungskonzept

Aufbauend auf vorherigen Überlegungen wird nun in Abb. 2 ein Lösungsansatz, bestehend aus einer Sandbox und einem „Reference Monitor" beschrieben.[18] Die Sandbox dient dazu, Anwendungen zu zwingen, ihre Anfragen nicht direkt an das Betriebssystem zu stellen, sondern hierfür den Reference Monitor zu nutzen.

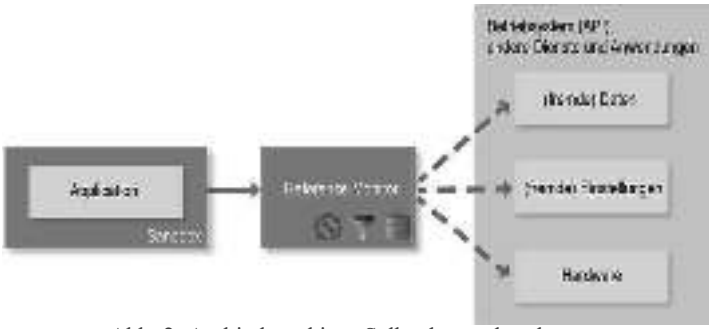


Abb. 2: Architekturskizze Selbstdatenschutzlösung

Diese Sandbox-Implementierung verändert den Code der bestehenden Anwendung nicht, sondern führt diese Anwendung in einer kontrollierten Umgebung aus. Der Reference Monitor ist die zentrale Komponente der Selbstdatenschutzlösung und dient dazu, die Einstellungen des Betroffenen hinsichtlich des dynamischen Datenzugriffsmanagements umzusetzen.[19] Dabei soll der Reference Monitor API-Aufrufe nicht nur gestatten oder blockieren können, sondern auch in der Lage sein, Antworten zu filtern. So kann bspw. bei einer Anfrage hinsichtlich des Adressbuchs nur ein Teil der Adressen (horizontaler Filter) oder nur ein Teil der Attribute (vertikaler Filter) an die anfragende Anwendung zurückgeliefert werden. Dadurch ist es bspw. möglich, die Bekanntschaft zu bestimmten Personen

[18] Ein „Reference Monitor" ist ein Konzept aus der Zugriffskontrolle, das die Zugriffsanfragen aller Subjekte für alle Objekte kontrolliert [Bi03].

[19] Somit werden Urheberrechte Dritter (Anwendung und OS) nicht verletzt, siehe 2.1 und 2.2.

vor Anwendungen zu verbergen oder die Geburtsdaten aller im Adressbuch gespeicherten Personen vor einer Anwendung zu schützen.

3 Selbstdatenschutz im Konflikt mit Lauterkeitsrecht?

Die Begrenzung von Datenzugriffen steht grundsätzlich im Spannungsverhältnis zu datengetriebenen Geschäftsmodellen, die Nutzerdaten zur Refinanzierung oder Leistungserbringung benötigen. Der Vertrieb von Selbstdatenschutzlösungen könnte die Entfaltungsmöglichkeit von Wettbewerbern beeinträchtigen. Kann das konkret beanstandete Wettbewerbsverhalten andere im Absatz behindern oder stören, stellt sich die Frage, ob eine über den gewöhnlichen Leistungswettbewerb hinausgehende unlautere Beeinträchtigung vorliegt.[20] An das Bestehen eines konkreten Wettbewerbsverhältnisses sind dabei keine hohen Anforderungen geknüpft, insbesondere muss keine Branchenidentität vorliegen.[21] Eine Wettbewerbsbehinderung kann auch mittelbar durch die Mitwirkung der Nutzer erfolgen, wenn die Markttätigkeit in Verdrängungsabsicht erfolgt oder „dazu führt, dass die beeinträchtigten Mitbewerber ihre Leistung am Markt durch eigene Anstrengung nicht mehr in angemessener Weise zur Geltung bringen können".[22] Bei der Gesamtschau sind die Interessen der Mitbewerber, Verbraucher und sonstiger Marktteilnehmer sowie der Allgemeinheit mit einzubeziehen.[23] Fälle einer gezielten Behinderung können in der Umgehung technischer Schutzmaßnahmen oder der Verleitung zum Vertragsbruch liegen.[24]

3.1 Verleiten zum Vertragsbruch bei Daten als Gegenleistung digitaler Dienste?

Der Vorschlag der DInhRL-E[25] soll eine rechtliche Basis für die Verwendung personenbezogener Daten als Gegenleistung bspw. für die App-Nutzung schaffen. Die vertragstypologische Einordnung des App-Vertrags ist besonders bei vermeintlich kostenlosen Angeboten umstritten. Teils wird aufgrund der unentgeltlichen Natur trotz Fehlens eines altruistischen Interesses von einem Schenkungsvertrag ausgegangen [Kr11, S. 771] a. A. [DK17]. Entsprechend der tatsächlichen Gegebenheiten wird vertreten, man könne ein synallagmatisches Austauschverhältnis im Sinne eines Tauschvertrags annehmen [Br14b]. Dieses könnte sich auf die Erklärung der datenschutzrechtlichen Einwilligung beziehen [Bu10, S. 40]. Ein Abweichen von der vertraglich geschuldeten Hauptleistung müsste in diesem Fall Regressansprüche der Gegenseite verursachen. Daher stellt sich die Frage, ob

[20] BGH, Urteil vom 12.01.2017 – I ZR 253/14 „*World of Warcraft II*"; BGH, Urteil vom 24.06.2004 – I ZR 26/02 „*Werbeblocker*".
[21] BGH, Urteil vom 24.06.2004 – I ZR 26/02 „*Werbeblocker*". OLG Köln, Urteil vom 24.06.2016 – I-6 U 149/15 „*Adblock Plus*"; LG München, Urteil vom 22.03.2016 – 33 O 5017/15.
[22] BGH, (Fn.20).
[23] BGH, (Fn.2020); BGH, Urteil vom 17.05.2001 – I ZR 216/99 „*Mitwohnzentrale.de*".
[24] § 4 Nr. 4 UWG, BGH, (Fn.21, 21).
[25] Kommissionsentwurf einer Richtlinie über bestimmte vertragsrechtliche Aspekte der Bereitstellung digitaler Inhalte (COM 2015/634), final vom 09.12.2015.

der Einsatz personenbezogener Daten als Ware mit dem Grundrechtsschutz vereinbar ist.

Die Schaffung eines „Dateneigentums“ als ein Ausschließlichkeitsrecht des „Datenerzeugers“ wird zwar diskutiert, personenbezogene Daten müssen jedoch hiervon ausgeklammert werden [Bu17, S. 13]. Personenbezogene Daten sind als Ausfluss des Persönlichkeitsrechts selbst bei Anerkennung ideeller und materieller Bestandteile des Persönlichkeitsrechts nicht übertragbar, da die vollständige Entäußerung sämtlicher Rechte an persönlichen Daten mit dem im Recht auf informationelle Selbstbestimmung innewohnenden Menschenwürdekern unvereinbar wäre [Sp17, S. 106 ff.]. Zwar wird angenommen, dass über die Bemessung der Daten als geldwerte Gegenleistung die Partizipation der Betroffenen an den Gewinnen ermöglicht und damit der Schutz der Betroffenen verbessert würde [Se14, S. 158]. Es kann jedoch konstatiert werden, dass Nutzer für die Preisgabe ihrer Daten vor allem aufgrund von Informationsasymmetrien und Verhandlungsungleichgewichten zwischen Privatpersonen und weltweit operierenden Oligopolen keine gleichwertige Gegenleistung erhalten [HG15, S. 270 f.]. Die Schaffung eines Dateneigentums dürfte diese Ungleichgewichte nicht aufheben, sondern vielmehr Datenverwertern eine gesicherte Rechtsposition ermöglichen.

DInhRL-E sieht einen schuldrechtlichen Vertrag über Daten als Gegenleistung vor (ohne Anerkennung eines „Dateneigentums“), soweit diese aktiv durch den Verbraucher bereitgestellt werden – nicht hingegen bei passiver Preisgabe.[26] Unabhängig von der Frage, ob die aktive Eingabe ein angemessenes Anknüpfungskriterium für die Anwendbarkeit darstellen kann, bestehen gravierende Widersprüche zur DSGVO. Dies könnte zur Inkonsistenz des Rechtsrahmens führen [Op17, S. 8 f.]. Eine schuldrechtliche Bindung steht im Konflikt mit dem Widerruf der Einwilligung, der jederzeit möglich sein sollte, ohne dass der Betroffene hierdurch Nachteile befürchten muss [Hä16, S. 738]. Nach DInhRL-E soll die Vertragsbeendigung nur im Fall der Vertragswidrigkeit möglich sein. Vertragsauflösung und Rückabwicklung könnten einen Nachteil darstellen. Zudem besteht ein Widerspruch zum Kopplungsverbot in Art. 7 Abs. 4 DSGVO [Hä16, S. 738]. Teils wird diese Regelung trotz des unklaren Wortlauts in Zusammenschau mit den Erwägungsgründen 42, 43 als absolutes Kopplungsverbot verstanden, sodass im Rahmen eines Vertragsverhältnisses eine Einwilligung in zweckfremde Datenverarbeitung stets unfreiwillig und damit unwirksam wäre [AJ17, S. 70], [Da16, S. 311]. Dagegen wird vertreten, es handele sich lediglich um eine Subsumtionsanleitung für das Merkmal „freiwillig“, die nicht zu einem mittelbaren Kontrahierungszwang führen dürfe, sodass auch Dienst-gegen-Daten-Modelle bei ausreichender Transparenz möglich wären, so *Schulz* in [Go17, § 7 Rn. 23 ff.]. Echte Wahlfreiheit besteht jedoch nur dann, wenn gleichwertige Alternativen angeboten werden. Obwohl vielfach von Daten als neuer Währung gesprochen wird [Jö16], dürfte nicht allen Nutzern bewusst sein, ob und welche Daten als Gegenleistung dienen. Zwar wussten 47 bis 76 % der Teilnehmer einer Studie, dass sie mit Daten „bezahlen“, die Mehrheit erteilte hierzu jedoch selten oder nie ihre Zustimmung [Di14, S. 11, 16]. Dieses grobe Bewusstsein dürfte keinesfalls als Rechtsbindungswille gewertet werden, insbesondere wenn es

[26] Vgl. Erwägungsgrund 14 DInhRL-E, ebenso sollen Daten nach § 3 Abs. 4 S. 1 DInhRL-E keine Gegenleistung darstellen, die für die Erfüllung des Vertrags oder rechtlicher Pflichten erforderlich sind.

sich um die wesentlichen Vertragsbestandteile handelt. In einer anderen Studie zogen es 55 % der befragten Europäer vor, digitale Dienste mit Geld zu bezahlen [Bi16, S. 22]. Zugleich wünscht sich eine Mehrheit ein Verbot von Geschäften mit personenbezogenen Daten [Di14, S. 22]. Ein gesetzliches Verbot müsste einen Ausgleich zwischen den widerstreitenden Grundrechten gewährleisten, *Schulz* in [Go17, § 7 Rn. 24]. Aus dem Recht auf informationelle Selbstbestimmung folgt die staatliche Schutzpflicht, informationellen Selbstschutz für die Nutzer digitaler Dienste tatsächlich zu ermöglichen.[27] Die Möglichkeit, sich vertraglich zur Preisgabe personenbezogener Daten zu verpflichten, könnte mit der Verantwortung des Staates, die Voraussetzungen selbstbestimmter Kommunikationsteilhabe zu gewährleisten, kollidieren, wenn dadurch informationeller Selbstschutz nicht mehr möglich wäre. Auch unter grundsätzlicher Anerkennung der privatrechtlichen Dispositionsfreiheit muss das Recht darauf hinwirken, dass insbesondere bei Vertragspartnern mit überlegenem Verhandlungsgewicht eine einseitige Bestimmungsmacht dieses Vertragspartners nicht die grundrechtlich geschützte Selbstbestimmung in eine Fremdbestimmung verkehrt.[28] Mit Verweis auf ethische Grundsätze wird die rechtliche Anerkennung eines Warenaustauschs von Persönlichkeitsgütern gänzlich abgelehnt [Op17, S. 7].

Selbst bei künftiger Anerkennung einer Gegenleistung in Form einer aktiv-bewussten Dateneingabe als Ausdruck der selbstbestimmten Selbstvermarktung müsste eine interessenausgleichende Regelung mindestens stets gleichwertige Alternativzahlungsmöglichkeiten (in Geld) verpflichtend vorsehen sowie im Umkehrschluss eine Monetarisierung passiv-unbewusst preisgegebener personenbezogener Daten unterbinden. Diese dürften nicht bloß aus dem Anwendungsbereich der Regelung fallen.[29] Selbst im Hintergrund laufende Prozesse, wie das Nutzertracking, könnten vom Nutzer, bspw. durch Betätigen eines Start-Buttons, aktiv angestoßen werden. Andernfalls wäre die vom Richtlinienentwurf anvisierte Gleichstellung entgeltpflichtiger und datengetriebener Geschäftsmodelle nicht erreichbar, wenn eine Umgehung über passiv-unbewusste Datenzugriffe weiterhin möglich und für den Anbieter sogar vorteilhafter, da mit weniger vertragsrechtlichen Pflichten verbunden ist [Op17, S. 12]. Zu beachten wäre zudem, dass Verträge stets unter der auflösenden Bedingung des Widerrufs stünden, da andernfalls ein Eingriff in den Wesensgehalt des Grundrechts zu befürchten ist [AJ17, S. 72]. Da an die vertragsrechtliche Anerkennung „Dienst gegen Daten“ im Hinblick auf Freiwilligkeit und Transparenz sehr hohe Hürden gebunden sind, dürfte nach aktueller Rechtslage keine verbindliche Vereinbarung eines derartigen Geschäftsmodells bestehen. Somit besteht kein Synallagma, das zur Folge hätte, dass App-Anbieter einklagbare Ansprüche auf tatsächliche App-Nutzung und Datenpreisgabe hätten [DK17]. Da Selbstdatenschutzlösungen die passiv-unbewusste Datenpreisgabe adressieren, wird selbst bei Umsetzung des Kommissionsvorschlags der DInhRL-E keine unlautere Verleitung zum Vertragsbruch vorliegen.

[27] BVerfG, stattgebender Kammerbeschluss vom 17. Juli 2013 – 1 BvR 3167/08.
[28] BVerfG, stattgebender Kammerbeschluss vom 23. Oktober 2006 – 1 BvR 2027/02.
[29] Einen Überblick typischer digitaler Geschäftsmodelle, die nicht in den Anwendungsbereich der DinhRL-E fallen würden: [Hä17, S. 737–738].

3.2 Gesamtschau kollidierender Grundrechte

Selbst wenn die Blockade von Datenzugriffen zur Unwirtschaftlichkeit datengetriebener Geschäftsmodelle führen könnte, besteht weder eine gezielte noch eine allgemeine Behinderung.[30] Bei der Gesamtabwägung dürften die Rechte der Anbieter datengetriebener Geschäftsmodelle im Rahmen ihrer Berufsfreiheit[31] hinter den Interessen der Allgemeinheit, Nutzern und Anbietern von Selbstdatenschutzlösungen zurücktreten. Die Grundrechte verkörpern eine objektive Werteordnung, die für alle Bereiche des Rechts gilt.[32] Neben dem Interesse der Nutzer an einem angemessenen Privatsphärenschutz streiten die Berufsfreiheit der Anbieter von Selbstdatenschutzlösungen sowie das Interesse der Allgemeinheit an einer effektiven Rechtsdurchsetzung für deren Zulässigkeit. Anbieter werden mit Geltung der DSGVO Datenminimierung, Privacy by Design und by Default sowie transparente, die Freiwilligkeit sicherstellende Einwilligungsmechanismen umsetzen müssen, sodass bei Nichtbeachtung dieses Defizit ausgeglichen wird. Zu bedenken gilt, dass die technische Durchsetzung gültiger Datenschutzvorgaben einen positiven Wettbewerbsfaktor darstellen kann. Sobald sich sämtliche Wettbewerber gleichermaßen datenschutzkonform verhalten müssen, entsteht ein Level Playing Field zwischen diesen Anbietern. Wettbewerbsvorteile gegenüber datenschutzkonformen Angeboten können dann nicht mehr über unzulässige Datenzugriffe generiert werden.

4 Exkurs: Generierung falscher Daten

In Abschnitt 2.4 wurde bereits auf die mögliche Bereitstellung von Filterfunktionen zur granularen Freigabe oder Blockade von Daten hingewiesen. Anwendungen, die auf fehlende Datensätze mit Fehlfunktionen reagieren, könnten leere oder speziell generierte Ersatzdatensätze geliefert werden. Aus rechtlicher und technischer Sicht ergeben sich hieraus weitere Anforderungen. Das Generieren von falschen Daten wird bereits von einigen Anbietern als Service angeboten. Hierzu zählen bspw. Generatoren, die vollständige Identitäten erzeugen.[33] Auch Selbstdatenschutzanwendungen bieten bereits Lösungen an, die falsche Daten bspw. durch zufälliges Ziehen aus Datenbanken erzeugen. Hier sei exemplarisch die Anwendung „XPrivacy“[34] von Bokhorst genannt. Fraglich ist, ob durch die Bereitstellung von falschen Daten Dritten ein Schaden entstehen könnte, und wie dies im Einzelfall rechtlich zu bewerten ist. Zwar dürfte ein Selbsthilferecht bei datenschutzwidrigen Datenzugriffsversuchen bestehen, die Funktionalitäten könnten aber auch außerhalb datenschutzrechtlich relevanter Konstellationen (bewusst oder unbewusst) eingesetzt werden. Können Nutzer durch gezielte Falscheingabe Vorteile erreichen, könnten sie sich ggf.

[30] Eine allgemeine Marktbehinderung kann vorliegen, wenn die Aktivität zu einer existenziellen Bedrohung für den Mitbewerber führt, vgl. BGH, Urteil vom 24.06.2004 – I ZR 26/02 „*Werbeblocker*“.
[31] Bloße Erwerbschancen sind keine Rechtspositionen im Sinne der Eigentumsgarantie.
[32] BVerfG, Urteil vom 15. Januar 1958 – 1 BvR 400/51 “*Lüth-Urteil*“; LG München, Urteil vom 22.03.2016 – 33 O 5017/15.
[33] Fake Name Generator, ttp://de.fakenamegenerator.com.
[34] https://github.com/M66B/XPrivacy/blob/master/src/biz/bokhorst/xprivacy/PrivacyManager.java.

strafbar machen.[35] Schädigen Falschangaben App-Anbieter, könnte – auch wenn die Datenpreisgabe keine vertragliche Hauptpflicht ist – an eine Nebenpflichtverletzung von Geboten der gegenseitigen Rücksichtnahme zu denken sein (§ 241 Abs. 2 BGB). Daneben sollte ein Missbrauch derartiger Funktionalitäten durch die Nutzer vermieden werden. Der Vertrieb einer Software, die Nutzern die Umgehung vertraglich verbindlich gewordener Spielregeln ermöglicht, wurde als unlauterer Wettbewerb qualifiziert.[36] Zu bedenken gilt auch, dass bei massenhafter Nutzung eine negative Drittwirkung für andere Nutzer nicht ausgeschlossen werden kann.[37] Ein Eingriff in den deliktsrechtlich geschützt eingerichteten und rechtmäßig ausgeübten Gewerbebetrieb kann bei einer gezielten betriebsbezogenen Schädigung vorliegen.[38] Die rechtlichen Auswirkungen bedürfen einer Einzelfallprüfung. Sollen als letzte Eskalationsstufe des Selbstdatenschutzes falsche Daten übermittelt werden, stellen sich mindestens folgende Anforderungen: 1) zufällige Datengenerierung ohne Einflussnahmemöglichkeit der Nutzer, um den missbräuchlichen Einsatz dieser Funktion zu verhindern; 2) Daten müssen plausibel sein, um nicht direkt als Falschdaten entlarvt zu werden; 3) generierte Daten dürfen nicht mit real existierenden Daten identisch sein, um Missbrauch zu unterbinden und keine personenbezogenen Daten Dritter zu verwenden; 4) Einsatz und Auswahl der falschen Daten darf nicht zur rechtswidrigen Schädigung rechtmäßiger Geschäftsmodelle führen. Bei der intelligenten Generierung von Daten können verschiedene Abwägungen getroffen werden. Sehr häufig vorkommende Namenskombinationen (z. B. „Thomas Müller“) erschweren die Identifizierbarkeit. Um zu verhindern, dass weitere Kombinationen, beispielsweise mit Geburtsdaten oder Telefonnummern, zu einer echten Person führen, sollte, sofern die Namen aus einer Datenbank zufällig „gezogen“ werden, die Datenmenge nicht zu klein sein. Folglich muss ein geeigneter Generierungsalgorithmus entwickelt werden. Eine weitere Möglichkeit der Generierung von Ersatzdaten ist das Hinzufügen einer Unschärfe. Dies hat den Vorteil, dass keine Fehlinformationen dargestellt werden. So kann bei Standortdaten der wahre Aufenthaltsort verschleiert und gleichzeitig verhindert werden, dass Anwendungen, die viele Standorte, bspw. zur Generierung von Stauprognosen, abfragen, keine falschen Prognosen berechnen.

5 Fazit und Ausblick

Solange nicht sämtliche Anwendungen Paradigmen wie Privacy by Design und Default berücksichtigen, bietet sich die Verwendung von Selbstdatenschutzanwendungen an. Bis-

[35] Bspw. kann nach KG Berlin, Beschluss vom 22.07.2009 – (4) 1 Ss 181/09 (130/09) bei Anmeldung unter falschem Namen eine Fälschung beweiserheblicher Tatsachen vorliegen (§ 269 StGB), a. A. OLG Hamm, Beschluss vom 18.11.2008 – 5 Ss 347/08. Dies gilt nicht bei sog. Freemium-Angeboten, wenn der Vertragspartner erkennbar kein schutzwürdiges Interesse an der wahren Identität hat.

[36] BGH, Urteil vom 12.01.2017 – I ZR 253/14 „*World of Warcraft II*“.

[37] Bspw. beruhen Geschäftsmodelle wie Stauwarnsysteme auf der Bereitstellung exakter Standortdaten einer Vielzahl von Nutzern.

[38] BGH, Urteil vom 09.12.1958 – VI ZR 199/57 „*Stromunterbrechung*“. Geschützt sind nur rechtmäßige Ausübungsformen eines Betriebs, OLG Karlsruhe, Urteil vom 24.01.1992 – 10 U 163/91.

herige Lösungen werfen jedoch u. a. urheberrechtliche Fragen auf, welche über die Umleitung der Datenkommunikation vermieden werden können. Die Anerkennung von Daten als vertragliche Gegenleistung dürfte lauterkeitsrechtliche Probleme mit sich bringen. Um Widersprüche mit der DSGVO zu vermeiden, sollte die DInhRL-E überarbeitet werden. Große technische Herausforderungen auch im Hinblick auf Privatsphärenschutz durch Generierung falscher Daten ergeben sich aufgrund der heterogenen Umgebung der Anwendersysteme (unterschiedliche Betriebssysteme, Dienste, Geschäftsmodelle und Daten).

Die Veröffentlichung ist im Projekt AVARE („Anwendung zur Verteilung und Auswahl rechtskonformer Datenschutzeinstellungen“) entstanden. Das Projekt wird von der Baden-Württemberg Stiftung gGmbH im Rahmen des Forschungsprogramms „IKT-Sicherheit“ finanziert. Projektträger ist das DLR.

Literaturverzeichnis

[AJ17] Albrecht, Jan Philipp; Jotzo, Florian: Das neue Datenschutzrecht der EU: Grundlagen, Gesetzgebungsverfahren, Synopse, Nomos-Verlag, Baden-Baden, 2017.

[Al16] Alpers, Sascha; Betz, Stefanie; Fritsch, Andreas; Oberweis, Andreas; Pieper, Maria; Schiefer, Gunther; Wagner, Manuela: AVARE Projektbericht, 1. Meilenstein, KIT-Verlag, Karlsruhe, 2016.

[Be17] Europäisches Parlament, Bericht über die Folgen von Massendaten über die Grundrechte, http://www.europarl.europa.eu/

[Bi03] Bishop, Matt: Computer Security: Art and Science. Addison-Wesley Professional, Boston u. a., 2003.

[Bi16] Vodafone Institute for Society and Communication: BIG DATA – a European survey on the opportunities and risks of data analytics, http://www.vodafone-institut.de/bigdata/links/VodafoneInstitute-Survey-BigData-Highlights-en.pdf, 2016.

[Bo13] Bodden, Eric; Rasthofer, Siegfried; Richter, Philipp; Roßnagel, Alexander: Schutzmaßnahmen gegen datenschutzunfreundliche Smartphone-Apps. In: Datenschutz und Datensicherheit 37/11, S. 720–725, 2013.

[Br14a] Brummund, Anke: Smartphones und Apps: Datenschutzrechtliche Risiken und deren Begrenzung. In: (E. Plödereder, L. Grunske, E. Schneider, D. Ull) Informatik 2014, Gesellschaft für Informatik, Bonn, S. 539–550, 2014.

[Br14b] Bräutigam, Peter: Das Nutzungsverhältnis bei sozialen Netzwerken – Zivilrechtlicher Austausch von IT-Leistung gegen personenbezogene Daten. In: MultiMedia und Recht, S. 635–641, 2012.

[Bu10] Buchner, Benedikt: Die Einwilligung im Datenschutzrecht. In: Datenschutz und Datensicherheit 34/1, S. 39–43, 2010.

[Bu17] European Commission: Building a European Data Economy. COM (2017) 9 final. http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM:2017:9:FIN, 2017.

[Da16] Dammann, Ulrich: Erfolge und Defizite der EU-Datenschutzgrundverordnung. Erwar-

teter Fortschritt, Schwächen und überraschende Innovationen, Zeitschrift für Datenschutz, S. 307–314, 2016.

[Di14] Deutsches Institut für Vertrauen und Sicherheit im Internet (DIVSI): DIVSI Studie Daten – Ware und Währung. Hamburg, Bonn, 2014.

[DK17] Datta, Amit; Klein, Urs Albrecht: Kostenlose Apps – eine vertragsrechtliche Analyse. In: Computer und Recht 33/3, S. 174–181, 2017.

[DS15] Dreier, Thomas; Schulze, Gernot: Urheberrechtsgesetz: Urheberrechtswahrnehmungsgesetz, Kunsturhebergesetz: Kommentar, 5. Auflage. München, C.H. Beck, 2015.

[Go17] Gola, Peter (Hrsg.): Datenschutz-Grundverordnung. VO (EU) 2016/679 Kommentar, C.H. Beck, München, 2017.

[Go96] Goldberg, Ian; Wagner, David; Thomas, Randi; Brewer, Eric: A secure environment for untrusted helper applications. In: Proceedings of the 6th conference on USENIX Security Symposium, Focusing on Applications of Cryptography, San José, 1996.

[Hä16] Härting, Niko: Digital Goods und Datenschutz – Daten sparen oder monetarisieren?, In: Computer und Recht 32/11, S. 735–740, 2016.

[HG15] Hornung, Gerrit; Goeble, Thilo: Data Ownership im vernetzten Automobil. In: Computer und Recht 31/4, S. 265–273, 2015.

[Jö16] Jöns, Johanna: Daten als Handelsware. Deutsches Institut für Vertrauen und Sicherheit im Internet (DIVSI), Hamburg, 2016.

[Kr11] Kremer, Sascha: Vertragsgestaltung bei Entwicklung und Vertrieb von Apps für mobile Endgeräte. In: Computer und Recht 27/12, S. 769–776, 2011.

[Le16] Leistner, Matthias: Die „Metall auf Metall“-Entscheidung des BVerfG. In: Gewerblicher Rechtsschutz und Urheberrecht, S. 772–777, 2016.

[No07] Norberg, Patricia; Horne, Daniel; Horne, David: The Privacy Paradox: Personal Information Disclosure Intentions versus Behaviors. In: Journal of Consumer Affairs 41/1, S. 100–126, 2007

[Op17] European Data Protection Supervisor: Opinion 4/2017 on the Proposal for a Directive on certain aspects concerning contracts for the supply of digital content. https://edps.europa.eu/, 2017.

[Se14] Seidel, Ulrich: Das Grundrecht auf Datensouveränität. In: Zeitschrift für Gesetzgebung, S. 153–165, 2014.

[Sp12] Spindler, Gerald: Grenzen des Softwareschutzes. In: Computer und Recht, 28/7, S. 417–422, 2012.

[Sp17] Specht, Louisa: Konsequenzen der Ökonomisierung informationeller Selbstbestimmung: die zivilrechtliche Erfassung des Datenhandels. Heymanns, Köln, 2012.

[We11] Weigert, Martin: Social Web: Über Konkurrenz und den Nutzen für die User. In: (J. Krone) Medienwandel kompakt 2008–2010, Nomos-Verlag, S. 166–170, 2011.

[Wh14] Forum Privatheit und selbstbestimmtes Leben in der digitalen Welt: White Paper Selbstdatenschutz. 2. Auflage, 2014.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 1073

myneData: Towards a Trusted and User-controlled Ecosystem for Sharing Personal Data

Roman Matzutt[1], Dirk Müllmann[2], Eva-Maria Zeissig[3], Christiane Horst[4], Kai Kasugai[5], Sean Lidynia[3], Simon Wieninger[4], Jan Henrik Ziegeldorf[1], Gerhard Gudergan[4], Indra Spiecker gen. Döhmann[2], Klaus Wehrle[1] and Martina Ziefle[3]

Abstract: Personal user data is collected and processed at large scale by a handful of big providers of Internet services. This is detrimental to users, who often do not understand the privacy implications of this data collection, as well as to small parties interested in gaining insights from this data pool, e.g., research groups or small and middle-sized enterprises. To remedy this situation, we propose a transparent and user-controlled data market in which users can directly and consensually share their personal data with interested parties for monetary compensation. We define a simple model for such an ecosystem and identify pressing challenges arising within this model with respect to the user and data processor demands, legal obligations, and technological limits. We propose *myneData* as a conceptual architecture for a trusted online platform to overcome these challenges. Our work provides an initial investigation of the resulting *myneData* ecosystem as a foundation to subsequently realize our envisioned data market via the *myneData* platform.

Keywords: Personal User Data, Personal Information Management, Data Protection Laws, Privacy Enhancing Technologies, Platform Design, Profiling

1 Introduction

Trading and monetizing user data is a prevalent business model for most Internet companies [CL16]. With the ongoing digitalization, more and more data becomes available. This provides even more benefits and business models for companies, e.g., in product and service optimization [CL16]. However, small and medium-sized enterprises (SMEs) have virtually no direct access to such data as the market is dominated by giants such as Google, Facebook, or Amazon [HH14]. Despite its benefits for service quality, users are concerned about a perceived loss of control over their personal data [EC11].

[1] Chair of Communication and Distributed Systems, RWTH Aachen University, Ahornstraße 55, 52074 Aachen, Germany, {matzutt, ziegeldorf, wehrle}@comsys.rwth-aachen.de.
[2] Goethe-University Frankfurt/Main, Chair of Public Law, Information Law, Environmental Law and Legal Theory, Theodor-Adorno-Platz 4, 60323 Frankfurt/Main, Germany, {muellmann, spiecker}@jur.uni-frankfurt.de.
[3] Chair of Communication Science, Human-Computer Interaction Center, RWTH Aachen University, Campus-Boulevard 57, 52074 Aachen, Germany, {zeissig, lidynia, ziefle}@comm.rwth-aachen.de.
[4] FIR e.V. at RWTH Aachen University, Business Transformation, Campus-Boulevard, 52074 Aachen, Germany, {christiane.horst, simon.wieninger, gerhard.gudergan}@fir.rwth-aachen.de.
[5] formitas GmbH, Campus Boulevard 57, 52074 Aachen, Germany, kk@formitas.de

doi:10.18420/in2017_109

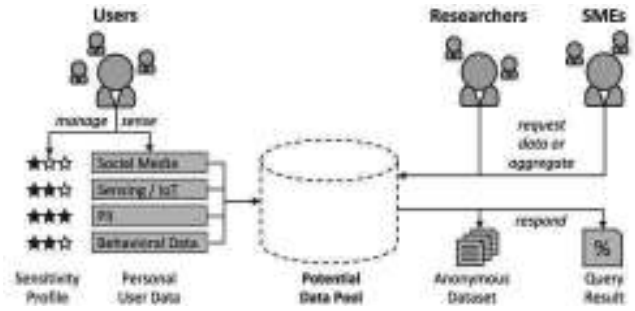


Fig. 1: The *myneData* scenario for transparent utilization of selectively shared personal user data.

In this work, we strive to establish a sustainable ecosystem that brings both worlds together: We want to enable a marketplace, or *data market*, where users keep control over their personal user data and where they can directly share this data selectively with a large variety of data processors such as research groups or SMEs. We identify a wide field of challenges for such an ecosystem: It must address users' privacy demands as well as legal obligations and simultaneously it must enable accurate insights for data processors. Today, providers of Internet services already collect and profit from a plethora of user data. Users tend to blindly accept this large-scale data collection to be able to use the offered service. The new European General Data Protection Regulation (GDPR), however, will thoroughly punish processors' misconduct with severe financial penalties–up to 4% of the total annual turnover or 20 million Euro, whichever is higher (Art. 83 sec. 4–6 GDPR). This creates a pressing demand to create a lawful, secure and trusted user-data market.

As a solution, we propose *myneData*, a digital and trusted data market with focus on the protection of data privacy. We define an ecosystem for sharing personal user data in which users keep control over their data according to individual privacy demands and receive an (e.g., financial) compensation. Within this ecosystem, third parties request personal data directly from users giving consent to process their data. We see the great potential to show that data protection and data economy are not mutually exclusive in this environment.

2 The *myneData* Scenario

Figure 1 shows the scenario we assume for an ecosystem that enables the user-centered sharing of personal user data with third parties. A set of *users* of different online services create large amounts of manifold *personal user data* via multiple diverse *data sources*. Examples for personal user data are social media activities, sensor readings, e.g., from wearables or smart home systems, personally identifiable information (PII), or online shopping behavior. In accordance with the privacy calculus theory [DH06], we assume that users are willing to share their data as long as they remain in control and potentially are compensated. As users have individual preferences concerning privacy, each user has a *sensitivity profile* describing the subjective importance of their individual data sources.

This *potential data pool* then becomes attractive to *data processors*, who are interested in gaining new insights from personal user data. While providers of Internet services such as Google, Facebook, or Amazon are also data processors, small players such as researchers or SMEs can struggle to gain access to valuable data [HH14]. Those data processors thus can profit from having direct access to personal user data. They seek to obtain either *anonymized datasets* describing their interest group or answers to *statistical queries* such as average values, extrema, histograms, etc. We observe a high potential for new use cases if data processors and users can cooperate in sharing and processing personal user data without intermediate data brokers keeping the data. However, we also identify clear conflicts of interest between users and data processors. Users want to protect their privacy (according to their sensitivity profile) while data processors seek to gain as much information as possible from the personal user data. Both interests cannot be simultaneously satisfied to full extent. Thus, any design to realize a user-centered data-sharing ecosystem has an inherent trade-off between *data privacy* and *data accuracy*, where data accuracy directly influences value of the data.

In total, we identify four dimensions that influence the design space of personal-data sharing ecosystems: (i) user interests, (ii) data processor interests, (iii) legal restrictions on processing personal user data, and (iv) technical practicability of security and privacy measures needed. In the following, we will detail the particular challenges for each dimension and sketch approaches to overcome these challenges with the goal of working towards a viable realization of our envisioned *myneData* ecosystem.

3 Challenges for a Sustainable Data Market

In this section, we discuss challenges w.r.t. user demands, data processor needs, legal obligations, and technical possibilities arising from our scenario outlined in Section 2.

3.1 User Perspective

User demands create manifold challenges for the *myneData* ecosystem: provide privacy and control, usability and comprehensibility, the right compensation, and the generation of trust. Many studies show that users express high concerns regarding their information privacy on the Internet [SDX11]. Privacy is a multifaceted construct and, in the online context, the perceived control about personal information is the key aspect [We68]. Within the *myneData* ecosystem, the users are to be enabled to control their personal data without impairing their information privacy. The complexity of privacy protection needs to be reduced to a level that every user can understand and effortlessly manage their data within the scope of their personal needs of information privacy. With participation in the *myneData* ecosystem, despite feeling to be in control, personal data is distributed to even more third parties than it is already based on everyday online interactions. Thus, trust in the *myneData* system needs to be generated and perceived risks for privacy reduced–as well as incentives for using the system need to be given.

Trust is the willingness to be vulnerable to the actions of others based on a positive expectation [BDS10]. In December 2016, we conducted a survey with *n=200* German participants to evaluate the ecosystem's concept. The answers showed several perceived issues and reasons for distrust and concerns. Within the *myneData* ecosystem, users have to trust the service provider to keep their promises and also the third parties that request data to comply with the rules or at least the law. Additionally, they need to trust the system to be protected against intruders. Furthermore, lay persons as well as experts must be able to operate in the ecosystem. Thus, language and interface design need to be simple enough while providing sufficient information to be trustworthy and fulfill legal requirements.

The ecosystem shall provide benefits for the user to incentivize participation. In general, monetary rewards, vouchers, but also providing information and analyses, are conceivable. Several new challenges surface, as do new kinds of incentives for the user, for example, in the case of home automation and smart home systems. To also reach home automation ecosystems that are not yet connected to the Internet, it would be necessary to incentivize owners to adapt their home automation systems. The much larger and quickly growing market is smart home and the Internet of Things. Here, consumer devices are typically connected to an isolated, vendor-specific cloud system. A data market such as envisioned by *myneData* allows to combine these separated data pools and provide both users and data processors with convenient and combinable access to all device data.

3.2 Economic Perspective

The establishment of the *myneData* platform comes with great challenges crucial for its success. The main challenge lies within the business model itself. In order to define these challenges, it is essential to understand the concept of a platform. A platform, in the literature also described as a two- or multi-sided market, brings together two or more distinct but interdependent groups of customers [Mu15]. The incentive for these groups to join the platform lies within the value proposition of the platform business model. In comparison to other business models, a platform inherits the feature to require two different value propositions–one for each group of customers [Mu15]. Next to defining two sufficient value propositions, which hold true value to each customer group, the platform needs to establish the customer network [Jo13]. This is the main challenge for a developing platform because it is the epitome of the chicken or the egg dilemma. Since the value of a platform rises with the number of participants, the growth at the beginning is the most crucial part for a possible success. It has been stated that a platform must first gain a sufficiently large user base before other businesses can gain valuable information from joining the platform [Mu15]. Once a critical mass of users and businesses is achieved, the platform will attract more participants by direct and indirect network effects [Mu15].

To illustrate that a (logically) central platform is required to overcome economic challenges for user data utilization, we exemplarily look at the smart home sector. In contrast to, e.g., social media, this economy branch has no small set of global players (e.g., Facebook or Google). The smart home sector is much more diverse and currently relies on

selling smart devices such as motion sensors, which does not include expressing user data in monetary terms. Vendors usually rely on cloud-based control platforms, but currently no business cases leveraging the potential of the distributed sensor data pools exist. It is thus challenging to mediate between the different stakeholders, and we believe that the *myneData* data pool has the potential of creating new use cases in this field.

3.3 Legal Perspective

From a legal point of view, *myneData* scenarios hold several challenges w.r.t. to data protection, not the least from a legal regime in transition as the European and national data protection laws are undergoing extensive changes. While the ePrivacy regulation on Internet services, which will replace the ePrivacy directive, is still in a draft stage[6], the new GDPR has already been in effect since May 2016. Its provisions will apply after a two-year transition period starting in May 2018. To strengthen data protection, the GDPR introduces several instruments which were so far unknown to European and national law, e.g., the right to data portability (Art. 20 GDPR), the requirements of data protection by design and by default (Art. 25 GDPR), or the process of a data protection impact assessment for risky data processing (Art. 35 GDPR). Furthermore, it contains many flexibility and regulatory specification clauses allowing and obliging the European member states to enact deviating rules. Consequently, there will still not be a completely uniform data protection law within the EU. Moreover, the existing national data protection laws are also facing fundamental reforms to fit the requirements and use the possibilities of the new European framework.

Many details of the new instruments introduced by the GDPR are still unknown. A scientific and pan-European debate about the framework is still in its early stages and final rulings on disputed questions, which can only be made by the European Court of Justice, cannot be expected in the near future [Mü17]. Thus, services such as *myneData* have to find solutions under these legal difficulties.

With regard to *myneData*, additional challenges arise from the different sources or situations of data collection and the broad variety of categories of data processed. Depending on the specific form and circumstances, different laws with specific requirements for the processing of personal data can be applicable, e.g., the GDPR, the revised BDSG, or the future ePrivacy regulation. Lawful data processing requires compliance with these specific regulations if they are applicable. This makes it difficult to create a "one-size-fits-all approach" for the legal challenges of the platform. These broad changes in content, enforcement, format, and applicable law create severe legal uncertainties [Mü17].

[6] Proposal for a Regulation of the European Parliament and the Counsil concerning the respect for private life and the protection of personal data in electronic communications and repealing Directive 2002/58/EC (Regulation on privacy and Electronic Communications), COM(2010) 10 final, 10th January 2017.

3.4 Technological Perspective

A platform realizing our envisioned *myneData* ecosystem must attract users and data processors and adhere to legal requirements. To this end, the platform must *gain users' trust* and answer queries *timely and accurately*. Furthermore, the platform must provide *easily operable user interfaces*. Finally, legal requirements demand a *secure data management*.

Users must trust the platform to protect their personal data from unintended access by third parties and to act according to their sensitivity profile. This also includes that users must be able to actively control how their data is collected and processed. The future legal requirements of privacy by design (cf. Section 3.3) further fortifies this demand. Contrarily, data processors want fast and accurate answers to their queries to gain valuable insights. However, privacy protection mechanisms work by deliberately lowering data accuracy to protect the data of individual users [Sw02, Dw08]. We have to carefully trade these different demands off against each other. The main challenge for the platform's design is thus conflict resolution between requirements from these differing domains.

To attract a large user base, *myneData* must provide intuitive interfaces. Users must have a clean and simple data control hub and data processors need a good overview of user data shared with them and potential insights. Furthermore, the data collection and querying must be intuitive. While user concerns already strongly motivate a secure data storage, legal obligations may enforce stricter policies than some users would demand. Our platform has to strictly follow these obligations to allow for real-world deployment.

In conclusion, data processors seek fast, accurate insights from large user data pools. However, privacy and legal concerns limit the prospects for data processors. In the following, we present first results for our design towards a sustainable, user-centered data market.

4 Towards a User-centered Data Market

We now give preliminary results working towards a legally compliant data market that is attractive to users and data processors based on the challenges identified in Section 3.

4.1 User Perspective

In accordance to the privacy calculus theory, we assume that users weigh the perceived privacy risks against the benefits for information sharing [DH06]. The evaluation of benefits and risks is influenced by a multitude of factors, such as individual preferences, experiences, knowledge, etc. Other factors are external and depend to a large degree on the exact data-processing situation as they include the types of data involved, trust in the data processor and legal regulations, perceived security of the transaction, and many more. The *myneData* ecosystem aims to provide control for every user and therefore has to account for these parameters–but no user wants to decide on all of them every time. Thus, the

complexity of privacy control must be scaled down to the most decisive factors while still taking situational and individual preferences into account. To realize this, *myneData* considers an individual sensitivity profile in which every user can adjust the settings according to her preferences as to (i) which category of information may be shared with (ii) what category of data processors (iii) for what purpose under (iv) what level of privacy protection. A focus group study has shown that these are the crucial factors users want to control [VZL+17]. For users to intuitively adjust the level of "privacy protection," we are currently developing a privacy control interface in a user-centered approach that is oriented along mental models to be comprehensible for every user.

Trust is crucial and has been studied extensively for other online services. Perceived ease of use, information and design quality, provider familiarity and reputation, third-party guarantees, and many more factors have been identified to generate trust in other online contexts [BDS10, BG08]. The decisive trust factors for *myneData* and how to appease them still need to be studied further by letting users evaluate a first mock-up of the system.

The other weight on the privacy calculus is the generated benefit. Our user study showed that participants rated the combination of (i) monetary compensation for data provision with (ii) additional information while (iii) staying in control over the data distribution as lucrative. Participants wished to know what data is collected by the services and devices they use, how this data is typically utilized, potential privacy risks as well as the given legal situation. Monetary rewards, e.g., money or vouchers, have been rated as the most wished for type of compensation. However, providing money for data generates defensive reactions as many participants stated, "I do not want to sell my data." Additionally, some participants stated that the monetary compensation would probably not be high enough.

In a second round of focus groups, participants were introduced to four use cases (c.f. Section 4.2) and evaluated benefits and the intention to use the system. This qualitative study showed people are willing to share data not only for personal but also societal benefits if privacy is guaranteed, e.g., for medical research or donations. Potential benefits for the users are very much tied to the different use cases. In our research, we gained the impression that more tangible benefits within the use cases, e.g., simple access to medical studies, are seen as more profitable than general benefits such as monetary rewards.

We take a user-centered design approach to make *myneData* comprehensible as well as intuitively and effortlessly usable. Each user is provided with the right amount of information through a multi-layered information design: On a first layer, information is condensed and simple, but the user can access more information on further information layers. Thus, complex privacy statements or consent forms can easily be augmented with graphical or even video-based content as no information is lost. [Sc15]

4.2 Economic Perspective

For the economic perspective, we aim to establish business cases for four exemplary use cases: smart home, medicine, customer insights, and cross service.

Smart Home. We exemplarily consider the processing of thermostat data. Smart thermostats deduce individual parameters of buildings to control the flat heating and save money by reacting accordingly. These parameters may reveal energy-saving potentials that could be achieved if the building was modernized. This valuable insight could subsequently be leveraged by vendors, service providers, or constructors. Finally, heating system manufacturers can use this data to improve their systems as well. Another scenario involves planning office rooms. Planners currently have little chance to monitor building utilization and how previously simulated building characteristics work out in the real world. Door and window sensors, temperature and humidity sensors, and presence sensors can generate valuable insights about usage patterns and help improve future buildings.

Medicine. In the medicine sector, *myneData* can aid medical surveys by offering an agent between pharmaceutical companies and study participants. Those two customer groups are matched via the *myneData* platform and during the study participants can track their study-related information about daily chores. This ensures a genuine overview of the collected data for the companies and eases the process for both customer groups.

Customer Insights. The main purpose in this case is the customer's control of data transfers. The customer can start collecting data within *myneData*, for example, by linking social media websites or by installing web trackers. Then, the customer can decide to sell selected pieces of data to interested companies. The companies consider those data pieces as highly attractive as they can gain insights about different customer segments and improve their marketing strategies. Meanwhile, the customer is able to get an overview of his or her data and see his digital "footprint" that is established on the Internet.

Cross Service. The use case "Cross Services" addresses service companies or, more precisely, call centers who offer call center services for a variety of firms. Call centers are neither allowed to save personal information about customers nor to recommend products of other clients to their customers (a cross service). With *myneData*, we provide an option for call centers to bypass this restriction. The customer can establish a *myneData* profile and allow the call center to save information on him/her in that profile. Each time the customer calls the call center, they can choose to grant access to their profile and the call center can then provide much better consulting, even w.r.t. to other products if the customer desires so. The benefits for the customer are not only the improved consulting but also the power over their own data, since they are the manager of their data cockpit.

4.3 Legal Perspective

Legally, data processing as performed in *myneData* falls under the term "profiling." According to the definition in Art. 4 No. 4 GDPR, this is any form of automated processing of personal data consisting of the use of personal data to evaluate certain personal aspects relating to a natural person, in particular to analyze or predict aspects concerning that natural person's performance at work, economic situation, health, personal preferences, interests, reliability, behavior, location, or movements. Although Art. 22 GDPR addresses the process of profiling, it does not provide a legal basis for its conduct. Rather, the norm

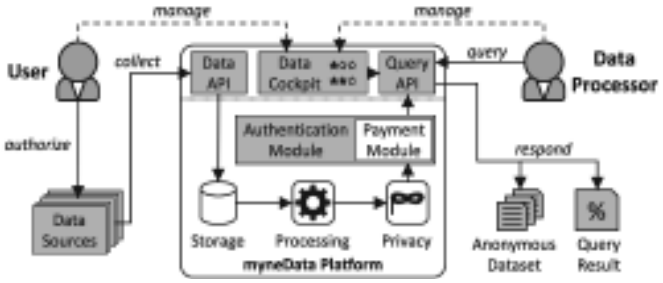


Fig. 2: Proposed architecture for the *myneData* platform to realize a user-controlled data market.

sets up special requirements for controllers and specific rights for data subjects when profiling is performed [AJ16]. Therefore, the data processing in *myneData* has to be based on a general legal permission, i.e., consent or a legal provision in the interest of the data processor. However, which specific permission applies to a processing scenario depends on the source and category of data processed as well as the situation of data collection. In the different scenarios of *myneData*, these circumstances may vary. As any handling of personal data is legal if the data subject agrees to it (Art. 6 (1) lit. a) GDPR, Artt. 6 et seqq. ePrivacy Regulation Proposal), data processing in *myneData* will be based on users' consent. This way, all processing in the project refers to a coherent basis. Furthermore, given user consent may even allow to collect, analyze and process special categories of personal data, i.e., sensitive data such as information about a person's health, sexual orientation, political opinion, or religious beliefs (Art. 9 sec. 1 GDPR). Considering these advantages and the current legal uncertainties concerning the interpretation of the GDPR, consent as permission for data processing will generally become important during the transition period and until a deeper understanding of the GDPR has been gained.

Rights of data subjects in the GDPR require the technical possibility to access, correct, erase, restrict, and port personal data at any time (Artt. 15–20 GDPR). Moreover, already the design of a platform has to ensure compliance to controllers' duties concerning the execution and configuration of the data processing, such as principles relating to processing of personal data (Art. 5 GDPR), duties to inform (Artt. 12–14 GDPR), or security of processing (Art. 32 GDPR). Consideration of these requirements at such an early stage can ensure that the platform provides the technical conditions for their fulfillment. This approach has gained special importance under the new European framework. Art. 25 sec. 1 GDPR obliges the controller to implement appropriate technical and organizational measures designed to implement data-protection principles and to integrate the necessary safeguards into the processing in order to meet the requirements of the GDPR and protect the rights of data subjects. Under Art. 25 sec. 2 GDPR, the same applies to technical and organizational measures to ensure that–by default and thus by technical measures–only personal data necessary for the specific purpose is processed. Infringement of these principles "privacy by design and by default" may lead to fines.

4.4 Technological Perspective

Users and data processors come together at our envisioned data market to trade personal user data. Figure 2 depicts our proposed architecture for the *myneData* platform. Its main component is the *data cockpit*, where users manage their data sources and sensitivity profile and where they review and approve data processing requests. Furthermore, data processors have a high-level overview of their pending and past data processing requests. Note that the platform is only logically centralized. For especially critical data, e.g., medical data, we currently investigate decentralized alternatives to our design as well.

The *myneData* platform performs data collection and processing in six steps. First, a user *authorizes* the platform, and thus gives consent, to *collect* the data from her data sources. Here, it is challenging to integrate various data sources with diverse APIs. New data sources can gradually be integrated due to an extensible *data API* that transforms data into a general-purpose data format. Subsequently, data processors *query* the data pool via an intuitive *query API*. They can request anonymized datasets or statistical information such as the average activity level among local students. Following the request is the query's *approval phase*: Users who can provide valuable data for the query are asked to share this data with the data processor. Each user can review the terms of the query, i.e., which data is requested by whom, the number of expected participants, how it will be processed, and how participating users are compensated. The user can thus *willingly* accept or deny this request. A dedicated *authentication module* with a *payment submodule* monitors that no data leaves the platform until the query's terms are satisfied. Once enough users decided to participate, the platform *computes* the result by processing the data and applying privacy-enhancing technologies such as *k*-anonymity [Sw02] or differential privacy [Dw08] to protect the users. Finally, the platform *responds* to the data processor by notifying her and returning the obtained result in a standardized format such as a JSON-based object.

One main challenge for our platform will be to resolve conflicts between user and data processor interests. As a sufficiently sized user base is critical to an online platform's success [Mu15, HH14], we prioritize user concerns over data processor interests whenever conflicts arise. We believe that this high-level concept fits the needs of both users and data processors when it comes to realizing a transparent, easy-to-use data market.

5 Related Work

Previous work from different strings of research tackled aspects of *myneData*. Commercial platforms such as Powr of You (powrofyou.com) or Datacoup (datacoup.com) incentivize users to sell their data. Recently, we notice a shift towards platforms that give users control over who can access their data [KPH15, HHM+14]. These existing platforms provide up to two out of consent management, self-monitoring, monetary rewards, and privacy w.r.t. third parties. With *myneData*, we seek to combine all four properties within one platform. To achieve this, we must thoroughly investigate user demands. Users' trust,

privacy attitudes and behaviors have also been extensively studied in different online contexts in the last decades, oftentimes reaching the same conclusion: User decisions are individual, partly irrational, and largely dependent on the context [KWM13, ABL15, SDX11]. Therefore, empirical studies investigating trust factors, privacy preferences, and desired compensations specifically for the case of the *myneData* ecosystem are essential. Moreover, there have been different approaches to examine the legal foundations of commercial profiling and, especially, to find a suitable legal definition fitting the process [Sp16]. These solutions, however, have been proposed for the specific purposes of highly specialized projects so it is debatable that they can be applied on a more general basis.

6 Conclusion

We introduced our vision of *myneData*, a sustainable and user-controlled data market. Our goal is to enable users to share data with third parties without privacy loss. We identify challenges for our platform that arise from user and data processor demands, the need for a business model, and future legal requirements, e.g., the new European General Data Protection Regulation. Our initial results outline a data-sharing ecosystem that requires a comprehensive understanding to realize *myneData*: First, we base our user model on studies affirming the privacy calculus theory. Second, we identified four use cases that allow SMEs to benefit from *myneData* and strive to derive a business model from that in the future. Third, we identified upcoming European law on data privacy as both a challenge and an opportunity for the introduction of a privacy-aware data market. Finally, we outline an architecture for a trusted *myneData* platform. In the future, we plan to investigate distributed alternatives to this platform in order to further decrease the trust required by users.

Acknowledgements

This work has been funded by the German Federal Ministry of Education and Research (BMBF) under funding reference numbers 16KIS0443 to 16KIS0447. The responsibility for the content of this publication lies with the authors.

References

[ABL15] Acquisti, A.; Brandimarte, L.; Loewenstein, G.: Privacy and human behaviour in the age of information. Science 6221/347, pp. 509–514, 2015.

[AJ16] Albrecht, J. P.; Jotzo, F. Das neue Datenschutzrecht der EU – Grundlagen, Gesetzgebungsverfahren, Synopse. Nomos, Baden-Baden, p. 79, 2016.

[BG08] Bansal, G., Gefen, D.: The Moderating Influence of Privacy Concern on the Efficacy of Privacy Assurance Mechanisms for Building Trust: A Multiple-Context Investigation. Proc. ICIS ’08, paper 7, 2008.

[BDS10] Beldad, A., De Jong, M., Steehouder, M.: How shall I trust the faceless and the intangible? A literature review on the antecedents of online trust. Computers in Human Behavior 5/26, pp. 857–869, 2010.

[CL16] Cooper, T., LaSalle, R.: Guarding and growing personal data value. White Paper, 2016.

[DH06] Dinev, T., Hart, P.: An Extended Privacy Calculus Model for E-Commerce Transactions. ISR 1/17, pp. 61–80, 2006.

[Dw08] Dwork, C.: Differential Privacy: A Survey of Results. Proc. TAMC '08, pp. 1–19, 2008.

[Ec11] European Commission: Special Eurobarometer 359: Attitudes on Data Protection and Electronic Identity in the European Union. Report, 2011.

[HH14] Haucap, J., Heimeshoff, U.: Google, Facebook, Amazon, eBay: Is the Internet Driving Competition or Market Monopolization? IEEP, 11(1), pp. 49–61, 2014.

[HHM+14] Henze, M., Hummen, R., Matzutt, R., Wehrle, K.: A Trust Point-based Security Architecture for Sensor Data in the Cloud. Trusted Cloud Computing, Springer, pp. 203–218, 2014.

[Jo13] Johnson, D., Wrigley, C. Straker, K.: Designing Innovative Business Models: Five emerging meta-models. Proc. TIDMS '13, pp. 70–77, 2013.

[KPH15] Kuikkaniemi, K., Poikola, A., Honko, H.: MyData–A Nordic Model for human-centered personal data management and processing. White Paper, 2015.

[KWM13] Kehr, F., Wentzel, D., Mayer, P.: Rethinking the Privacy Calculus: On the Role of Dispositional Factors and Affect. In: Reshaping Society Through Information Systems Design. AIS, Atlanta, pp. 1–10, 2013.

[MKA04] Malhotra, N. K., Kim, S. S., Agarwal, J.: Internet Users' Information Privacy Concerns (IUIPC): The Construct, the Scale, and a Causal Model. ISR, 4/15, pp. 336–355, 2014.

[Mü17] Müllmann, D. Book Reviews of Albrecht/Jotzo and Roßnagel. EDPL Review, 1/2017, pp. 142–145, 2017.

[Mu15] Muzellec, L., Ronteau, S., Lambkin, M.: Two-sided Internet Platforms: A Business Model Lifecycle Perspective. IMM, 45, pp. 139–150, 2015.

[Sc15] Schaub, F., Balebako, R., Durity, A. L., Cranor, L. F.: A Design Space for Effective Privacy Notices. Proc. SOUPS '15, pp. 1–17, 2015.

[SDX11] Smith, H. J., Dinev, T., Xu, H.: Information Privacy Research: An Interdisciplinary Review. MIS Quarterly 4/35, pp. 989–1015, 2011.

[Sp16] Spiecker gen. Döhmann, I, Tambou O *et al*. The regulation of Commercial Profiling – A Comparative Analysis. EDPL Review, 1/2017, pp. 535–554, 2017.

[Sw02] Sweeney, L.: *k*-Anonymity: A Model for Protecting Privacy. Int. J. Unc. Fuzz. Knowl. Based Syst. 10(5), pp. 557–579, 2002.

[VZL+17] Vervier, L., Zeissig, E-M., Lidynia, C., Ziefle, M.: Perceptions of Digital Footprints and the Value of Privacy. Proc. IoTBD '17, pp. 80–91, 2017.

[We68] Westin, A. F.: Privacy and Freedom. Am Sociol Rev, 1/33, pp. 173–175, 1968.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 1085

PATRON — Datenschutz in Datenstromverarbeitungssystemen

Christoph Stach[1], Frank Dürr[1], Kai Mindermann[1], Saravana Murthy Palanisamy[1], Muhammad Adnan Tariq[1], Bernhard Mitschang[1], Stefan Wagner[1]

Abstract: Aufgrund der voranschreitenden Digitalisierung gewinnt das *Internet der Dinge* (*IoT*) immer mehr an Bedeutung. Im *IoT* werden Geräte mit Sensoren ausgestattet und miteinander vernetzt. Dadurch werden neuartige Anwendungen ermöglicht, in denen Sensordaten miteinander kombiniert und in höherwertige Informationen umgewandelt werden. Diese Informationen verraten viel über den Nutzer und müssen daher besonders geschützt werden. Häufig hat der Nutzer allerdings keine Kontrolle über die Verarbeitung seiner Daten. Auch kann er das Ausmaß der daraus ableitbaren Informationen nicht ermessen. Wir stellen daher einen neuartigen Kontrollmechanismus vor, der private Informationen im *IoT* schützt. Anstelle von abstrakten Datenschutzregeln für einzelne Sensoren definiert der Nutzer Muster, die geschützt werden müssen. Der Nutzer definiert die zu verheimlichenden Informationen natürlichsprachlich, und ein Domänenexperte setzt diese in formale Regeln um. Sind diese Regeln zu restriktiv, so kann die Anwendung ihre angedachte Funktionalität nicht erbringen. Daher muss bezüglich der Servicequalität ein Kompromiss zwischen gewünschter Privatheit und benötigter Funktionalität gefunden werden.

Keywords: Datenschutz; Zugriffskontrolle; Datenströme; Internet der Dinge; Privatheit; Sensoren.

1 Einleitung

Heutzutage werden immer mehr Geräte mit Sensoren ausgestattet, die unterschiedlichste Aspekte ihrer Umgebung erfassen (z. B. den Standort) und daraus höherwertige Informationen ableiten (z. B. in welchem Kontext sie gerade verwendet werden). Im *Internet der Dinge* (engl. *Internet of Things*, *IoT*) werden diese Geräte miteinander vernetzt. Durch Informationsaustausch stehen damit den *IoT*-Anwendungen Daten aus den unterschiedlichsten Domänen zur Verfügung. Abb. 1 zeigt eine typische Architektur für eine solche Anwendung. Sensordaten werden in einem Datenstromverarbeitungssystem (*DSS*) miteinander verknüpft und mit historischen Daten aus weiteren Quellsystemen angereichert. Das daraus gewonnene Wissen wird Anwendungen zur Verfügung gestellt. Aufgrund der großen und vielfältigen Menge an verfügbaren Daten werden neuartige Anwendungen ermöglicht.

Die fortschreitende Digitalisierung ist zugleich Fluch und Segen. Während durch die Kombination einzelner Sensordaten neues Wissen gewonnen werden kann, stellt genau dies

[1] Universität Stuttgart, Universitätsstraße 38, 70569 Stuttgart, Vorname.Nachname@informatik.uni-stuttgart.de

doi:10.18420/in2017_110

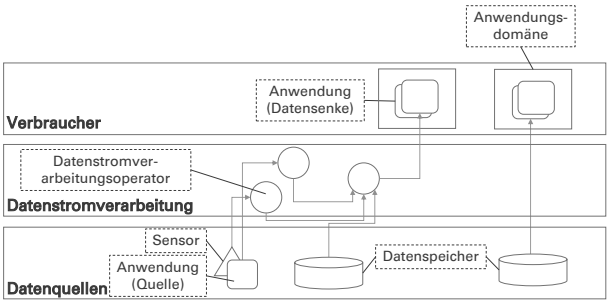


Abb. 1: Beispielarchitektur von Anwendungen für das *Internet der Dinge*

ebenfalls eine Gefahr dar. Jedes Sensordatum für sich betrachtet erscheint möglicherweise harmlos und für die Ausführung einer Anwendung erforderlich. Welches Wissen sich daraus ableiten lässt, kann der Nutzer[2] jedoch nicht überblicken. Daher versucht der Gesetzgeber zunehmend die Rechte der Nutzer zu stärken, z. B. durch die neue EU-Datenschutz-Grundverordnung. Der Nutzer kann jedoch nicht überprüfen, ob sich eine Anwendung an diese Verordnung hält. Daher bedarf es technischer Lösungen, mit denen der Nutzer seine Datenschutzanforderungen formulieren kann und die verifizieren können, ob diese Anforderungen eingehalten werden. Aktuelle Datenschutzsysteme decken nur Teilaspekte dieser Problematik ab und sind nicht an komplexe *IoT*-Anwendungen angepasst.

Zu diesem Zweck erbringen wir die folgenden vier Beiträge: (*I*) Wir beschreiben einen typischen Anwendungsfall für das *IoT*, in dem sehr viele vertrauliche Daten anfallen. (*II*) Ausgehend von diesem Beispiel leiten wir Anforderungen an ein Datenschutzsystem für das *IoT* ab. (*III*) Zur Erfüllung dieser Anforderungen stellen wir mit PATRON[3] ein neuartiges Datenschutzsystem fürs *IoT* vor, das sich einfach in die Beispielarchitektur von *IoT*-Anwendungen (siehe Abb. 1) einpassen lässt. Mithilfe dieser Erweiterungen ist es dem Nutzer möglich, seine Datenschutzanforderungen zu formulieren. Er definiert zu schützende Muster, d. h. Attributkombinationen, die von PATRON nicht gegenüber Anwendungen preisgegeben werden dürfen. Hierfür stehen PATRON mehrere unterschiedliche Techniken zur Verfügung, von denen PATRON sich stets diejenige aussucht, die die Servicequalität am besten erhält. Servicequalität bedeutet in diesem Fall, dass eine Anwendung mit möglichst vielen Daten versorgt wird, damit sie den größtmöglichen Nutzen erbringen kann, ohne dabei die vertraulichen Muster zu veröffentlichen. Die Güte der Konfiguration (d. h. inwiefern sie alle vertraulichen Daten schützt) wird fortlaufend überprüft. (*IV*) Wir evaluieren PATRON und zeigen, inwiefern dieser Ansatz die aufgestellten Anforderungen erfüllt.

Der Rest dieses Artikels ist wie folgt gegliedert: Zunächst wird in Abschnitt 2 ein *IoT*-Anwendungsfall im Bereich *E-Health* beschrieben. Abschnitt 3 stellt auf Basis dieses Beispiels einen Anforderungskatalog an ein *IoT*-Datenschutzsystem auf. In Abschnitt 4

[2] Mit dem Begriff „Nutzer“ seien jeweils beide Geschlechter gleichermaßen adressiert.
[3] PATRON steht für **P**riv**a**cy in S**tr**eam Pr**o**cessi**n**g.

werden verwandte Arbeiten betrachtet. Das PATRON-System ist Gegenstand von Abschnitt 5. Abschnitt 6 evaluiert hierauf unseren Ansatz und überprüft, inwiefern PATRON die aufgestellten Anforderungen erfüllt. Abschließend fasst Abschnitt 7 den Artikel zusammen.

2 Anwendungsfall E-Health

Von der voranschreitenden Digitalisierung und der Vernetzung von Sensoren kann das Gesundheitswesen profitieren. Im sogenannten *E-Health* nehmen Patienten mit speziellen Messgeräten notwendige Untersuchungen weitestgehend selbstständig vor. Die Gesundheitsdaten werden anschließend gesammelt, analysiert und an den zuständigen Arzt weitergeleitet [Ku13]. Auf diese Weise werden nicht nur Behandlungskosten reduziert, sondern auch die behandelnden Ärzte stark entlastet. Insbesondere bei chronischen Erkrankungen, die regelmäßig Therapiemaßnahmen benötigen, ist *E-Health* daher nützlich [BL01]. Im Folgenden wird gezeigt, welche Daten gesammelt werden und wer diese Daten verarbeitet.

Diabetes ist nicht heilbar, jedoch lassen sich die Folgeerscheinungen abschwächen. Hierfür müssen die Patienten u. a. regelmäßige Blutzuckermessungen vornehmen und ein Diabetestagebuch führen. Besonders für Kinder ist dies eine große Belastung. Mit sogenannten *Serious Games* kann eine Motivation für die jungen Patienten geschaffen werden. Knöll [Kn10] stellt mit Candy Castle ein Konzept eines Gesundheitsspiels für diabeteskranke Kinder vor. In der Android-basierten Implementierung dieses Konzepts [SS12; St16], erhält der Spieler ein virtuelles Schloss, das seine Gesundheit repräsentiert. Dieses Schloss wird regelmäßig von *dunklen „Mächten“* angegriffen. Als Gegenmaßnahme muss der Spieler Mauern errichten und so sein Königreich verteidigen. Das errichten der Mauer „kostet“ eine Blutzuckermessung sowie Angaben zu seinen Aktivitäten, seinen Mahlzeiten sowie seinem Empfinden. Da der Ort der Blutzuckermessung ebenfalls für die Analyse der Werte eine Rolle spielen kann [Kn10], wird jede Messung mit einer Ortsangabe annotiert.

Diese Werte werden mittels Sensoren automatisch erfasst. Der Blutzuckerwert kann mittels eines Glucometers erfasst werden. Die Aktivitäten des Spielers lassen sich anhand von Bewegungsmustern über Orientierungs-, Lage- und Beschleunigungssensoren ermitteln [Kw11]. Die Broteinheiten einer Mahlzeit können anhand von Fotos bestimmt werden [Al12]. Die Laune des Spielers lässt sich durch ein Mikrofon bestimmen [Me12]. Die Standortdaten können mittels eines GPS-Sensors ermittelt werden. All diese Sensoren befinden sich bereits in einem handelsüblichen Smartphone oder sie können sehr leicht daran angeschlossen werden. Die Sensordaten werden zu medizinischen Datensätzen zusammengefasst, auf dem Smartphone gespeichert und zur Verarbeitung an ein Back-End geschickt. Dort werden die eingehenden Datenströme analysiert, gespeichert und Ärzten zugänglich gemacht. Als weitere Funktion ermöglicht *Candy Castle* Eltern Zugriff auf die Gesundheits- und Standortdaten ihrer Kinder zu erhalten. Dies ist z. B. bei einem Zuckerschock erforderlich.

Dieses Beispiel zeigt, dass durch eine solche *IoT*-Anwendung sehr viele Daten gesammelt werden, die ein breites Spektrum an Rückschlüssen über den Nutzer zulassen. Daher sind

neben *Patienten*, *Ärzten* und *Eltern* auch noch weitere Gruppen an diesen Daten interessiert. Z. B. wollen Versicherungen den Behandlungsverlauf mitverfolgen, und auf diese Weise Tarife dynamisch anpassen und Städtebauer wollen durch die Kombination aus Gesundheits- und Standortdaten besonders gesunde Orte identifizieren.

Es ist jedoch offensichtlich, dass nicht jede Partei den gleichen Zugriff auf die Daten haben darf. Beispielsweise sollten Ärzte stets vollen Zugang zu allen Gesundheitsdaten haben, während Städtebauer nur anonymisierte und aggregierte Daten benötigen. Die Zugriffsrechte sollten bei Bedarf allerdings flexibel entzogen werden können. Eltern sollen z. B. nur in einem Notfall Zugriff auf die Standortsdaten ihrer Kinder haben.

3 Anforderungsanalyse

Motiviert von dem oben angeführten realitätsnahen *E-Health*-Szenario lassen sich die folgenden 8 Anforderungen an ein Datenschutzsystem ableiten. Zu jeder Anforderung wird jeweils ein Beispiel aus dem beschriebenen Anwendungsfall *Candy Castle* gegeben.

(*A*) **Einfache Konfiguration.** Die Konfiguration des Datenschutzsystems muss sehr einfach sein, damit der Nutzer einerseits bereit ist, das System zu verwenden, und er andererseits in der Lage ist, die Datenschutzregeln entsprechend seiner Wünsche zu erstellen. Die Nutzer von *IoT*-Anwendungen sind häufig keine IT-Spezialisten, so dass die Konfiguration für sie möglichst natürlichsprachlich erfolgen muss. In dem gegebenen *E-Health*-Szenario könnte eine solche Konfiguration beispielsweise lauten: „Meine Versicherung darf keinen Zugriff auf meine Standortdaten haben."

(*B*) **Musterorientiert.** Die meisten Datenschutzsysteme beschränken sich darauf, einzelne Sensorwerte nur verfälscht oder gar nicht an eine Anwendung weiterzuleiten. Ein Nutzer kann allerdings nicht absehen, welche Erkenntnisse aus einer Kombination von unterschiedlichen Sensorwerten gewonnen werden kann. Daher muss der Nutzer die Möglichkeit haben, Muster zu definieren, die verheimlicht werden sollen. In dem gegebenen *E-Health*-Szenario könnte ein solches Muster beispielsweise lauten: „Meine Versicherung darf nichts über mögliche, bislang noch nicht diagnostizierte Erkrankungen erfahren." Dabei wird nicht weiter spezifiziert, welche Kombinationen von Sensordaten auf eine solche Erkrankung hinweisen könnten.

(*C*) **Datenstromverarbeitung.** Sensoren liefern in der Regel einen kontinuierlichen Fluss von Daten. Sollen die Daten schnell verarbeitet werden, so muss die *IoT*-Anwendung direkt auf dem Datenstrom arbeiten. Das Datenschutzsystem muss daher in der Lage sein, eine strombasierte Verarbeitung von Daten zu unterstützen. In dem gegebenen *E-Health*-Szenario könnte ein Anwendungsfall für eine strombasierte Verarbeitung in der Analyse von Gesundheitswerten in Echtzeit bestehen. Diese Daten müssen schnell verarbeitet werden, um unmittelbar auf Zustandsveränderungen reagieren zu können, z. B. durch die Zuführung von Insulin bei einem Anstieg des Blutzuckerwerts.

(*D*) **Verarbeitung von historischen Daten.** Neben einer strombasierten Verarbeitung der Sensordaten, müssen *IoT*-Anwendungen diese Daten häufig ebenfalls dauerhaft abspeichern, um auch Analysen auf historischen Daten durchführen zu können oder aus Gründen der Nachweispflicht. Das Datenschutzsystem muss daher auch in der Lage sein, etwa Verschleierungstechniken auf Bestandsdaten anwenden zu können. In dem gegebenen *E-Health*-Szenario könnte ein Anwendungsfall für eine solche Verarbeitung in der Langzeitanalyse von Gesundheitswerten bestehen, z. B. um einen Gesamtüberblick über einen Krankheitsverlauf zu erhalten.

(*E*) **Datenschutzdomänen.** Mehrere Parteien können eigene Anwendungen haben, die von einer gemeinsamen *IoT*-Anwendung mit Daten versorgt werden. Da für jede Partei unterschiedliche Berechtigungen gelten können, muss ein *IoT*-Datenschutzsystem unterschiedliche Datenschutzdomänen unterstützen, für die jeweils eigene Datenschutzregeln angewandt werden. In dem gegebenen *E-Health*-Szenario könnte für die Domäne „Arzt“ gelten, dass dessen Anwendungen unbeschränkten Zugriff auf sämtliche Daten erhalten, während für die Domäne „Eltern“ gilt, dass diese ausschließlich in einem Notfall auf die Standortdaten Zugriff bekommen.

(*F*) **Verifikation.** Ein Nutzer muss einem Datenschutzsystem vollständig vertrauen können. Da er allerdings nicht sehen kann, ob das System seine Daten entsprechend seiner Vorgaben schützt, ist eine stetige Verifikation erforderlich. D. h. das Datenschutzsystem muss überwachen, welche Daten an eine Anwendung weitergegeben werden und ob sich daraus eines der vom Nutzer als zu schützend spezifizierten Muster ableiten lässt.

(*G*) **Flexibel.** Die Muster lassen sich in der Regel auf unterschiedliche Arten verschleiern, die je nach Anwendung und Situation unterschiedlich gut geeignet sind. Das Datenschutzsystem muss daher in der Lage sein, unterschiedliche Verschleierungstechniken zu unterstützen und diese abhängig vom jeweiligen Anwendungsfall anwenden. In dem gegebenen *E-Health*-Szenario könnte beispielsweise eine Strategie für die Verschleierung von Bewegungsmustern so aussehen, dass die Ortsdaten verfälscht werden, und eine andere, dass die Reihenfolge der besuchten Orte verändert wird. Während die Verfälschung der Ortsdaten für die Versicherung sinnvoll wäre, da diese keine Information über die genauen Aufenthaltsorte benötigt, kann die Veränderung der Reihenfolge für die Städtebauer angewandt werden, da diese zwar die exakten Ortsangaben benötigen, sie aber nicht wissen müssen, wann die Orte besucht wurden.

(*H*) **Servicequalität erhalten.** Der Nutzer ist trotz der Verschleierung der von ihm definierten Muster dennoch an einer hohen Servicequalität interessiert. Die Servicequalität drückt in diesem Fall aus, wie viel Nutzen von einer Anwendung ausgeht. Werden einer Anwendung beispielsweise überhaupt keine Daten zur Verfügung gestellt, so ist zwar garantiert, dass diese keine der Muster erkennen kann, allerdings kann eine Anwendung ohne Daten auch nicht arbeiten. Das Datenschutzsystem muss daher darauf achten, dass es Verschleierungstechniken wählt, die zwar die kritischen Muster verbergen, die Anwendung aber dennoch mit einem Maximum an Informationen versorgt. In dem gegebenen *E-Health*-Szenario könnte beispielsweise ein Muster

lauten „Die Eltern dürfen nicht erfahren, dass das Kind vor der Schule bei einem Fastfood-Restaurant war.“ Anstelle den Eltern keine Standortdaten zu geben, reicht es aus, die Reihenfolge der Standorte zu vertauschen. Dadurch erscheint es, dass das Kind nach der Schule bei dem Restaurant war, wodurch das Muster nicht auftritt.

4 Verwandte Arbeiten

Unseres Wissens nach gibt es aktuell kein Datenschutzsystem für das *IoT*, das sich mit allen relevanten Aspekten befasst, d. h. einer nutzerfreundlichen Regelerstellung, der Verifikation der Regeln sowie Datenschutzmechanismen für Datenströme und historische Daten. Im Folgenden werden daher die verwandten Arbeiten in diesen vier Aspekten separat betrachtet.

Die **Spezifikation von Datenschutzregeln** ist für den durchschnittlichen Nutzer sehr schwierig, da er die Konsequenzen seiner Einstellungen nicht überblicken kann [Fe11]. Zur Definition von Sicherheitsanforderungen gibt es mit *STPA-Sec* [YL13] einen Ansatz mit dem sich die Schwachstellen einer Anwendung aufzeigen lassen. Der Nutzer kann anschließend geeignete Maßnahmen wählen, um diese Schwachstellen zu beseitigen. *STPA-Priv* [Sh16] passt diesen systemtheoretischen Ansatz dahingehend an, dass auch Datenschutzrisiken damit identifiziert werden können. Die eigentliche Erstellung der Datenschutzregeln oder gar deren Durchsetzung wird in *STPA-Priv* nicht berücksichtigt.

Zur **Verifikation der Effektivität von Datenschutzregeln** gibt es Ansätze, die an den traditionellen Softwaretestprozess angelehnt sind. Martin und Xie [MX07] stellen ein Modell vor, das Beispieldaten an eine Anwendung schickt und deren Ausgaben dahingehend untersucht, ob die zum Einsatz kommenden Datenschutzregeln alle vertraulichen Daten herausgefiltert haben. Weicht die Ausgabe von der erwarteten Ausgabe ab, so sind die Regeln entweder zu strikt (Ausgabemenge ist kleiner als erwartet) oder nicht ausreichend restriktiv (Ausgabemenge beinhaltet vertrauliche Daten). Liegt von der Anwendung ein formales Modell vor, so lassen sich dessen Sicherheitseinstellungen ebenfalls mit Techniken aus der Aussagelogik automatisch überprüfen [AC08]. All diese Techniken sind allerdings nicht in der Lage, komplexere Muster, wie sie im *IoT*-Umfeld benötigt werden, oder deren Auswirkungen auf die Servicequalität zu erkennen.

Es gibt viele Ansätze, mit denen die **Verarbeitung von Datenströmen** reguliert werden kann (z. B. *DEFCON* [Mi10] oder die Arbeit von Lindner und Meier [LM06]). Diese fokussieren sich allerdings auf einzelne Attribute, die bestimmten Operatoren nicht zur Verfügung stehen dürfen. Wie in dem *E-Health*-Szenario gezeigt, ist dies allerdings zu restriktiv. Vielmehr sollen manche Werte nur unter bestimmten Bedingungen nicht zur Verfügung gestellt werden. Systeme wie *ACStream* [Ca09] berücksichtigen daher auch den Kontext unter dem ein Operator ein Datum verarbeiten möchte. Die Zugriffskontrolle erfolgt allerdings auch hier auf Attributen und nicht auf komplexeren Mustern.

Die **Verarbeitung von Daten in Datenbanksystemen** kann über feingranulare Zugriffskontrollmechanismen reguliert werden, wie sie beispielsweise von Wang et al. [Wa07]

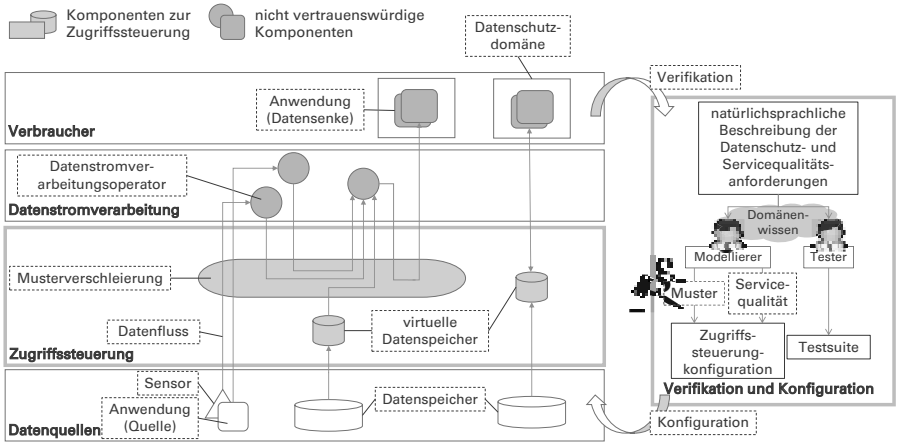


Abb. 2: Die PATRON-Architektur fürs *Internet der Dinge*

vorgestellt werden. Dabei werden Zugriffsrechte an bestimmte Nutzergruppen vergeben. Auch diese Regulierungen basieren auf einzelnen Attributen und nicht auf komplexen Mustern. Brown et al. [Br12] stellen Isolationstechniken für mandantenfähige Umgebungen vor, wie sie für Cloud-Anwendungen benötigt werden. Dabei liegt der Fokus auf der Isolation der Datenbestände einzelner Nutzer und nicht auf der Verschleierung bestimmter Muster.

5 Das PATRON-System

Abschnitt 4 zeigt, dass es aktuell kein umfassendes Datenschutzsystem für das *IoT*-Umfeld gibt. Mit PATRON führen wir ein solches System ein. Dabei wird die Standardarchitektur für *IoT*-Anwendungen um zwei Schichten erweitert: die **Verifikations- und Konfigurationsschicht** und die **Zugriffssteuerungsschicht** (siehe Abb. 2). Während die Verifikations- und Konfigurationsschicht orthogonal zu den restlichen Schichten steht, wird die Zugriffssteuerungsschicht zwischen die Datenquellen- und Verarbeitungsschicht eingebunden.

Die Verifikations- und Konfigurationsschicht stellt die Schnittstelle zum Nutzer dar. Hier kann er seine Datenschutzanforderungen und die gewünschte Servicequalität spezifizieren. Diese Spezifikation wird anschließend in eine Konfiguration für die Zugriffssteuerungsschicht umgewandelt. Zusätzlich findet in dieser Schicht die Verifikation der Datenschutzeinstellungen statt. Abschnitt 5.1 geht auf Details zu dieser Schicht ein. Die Zugriffssteuerungsschicht setzt die Datenschutzeinstellungen um. Hierfür erfolgt jeder Datenaustausch zwischen einer Datenquelle (z. B. Sensoren, Anwendungen oder Datenspeicher) und einer Datensenke (z. B. Datenstromverarbeitungsoperatoren oder Anwendungen) über diese Schicht. Dadurch ist sie in der Lage, die Datenströme zu manipulieren, um vertrauliche Muster geheim zu halten. Welche Techniken dabei zum Einsatz kommen, ist in Abschnitt 5.2 näher beschrieben.

5.1 Verifikations- und Konfigurationsschicht

Um dem Nutzer eine möglichst einfache Konfiguration des Systems bieten zu können, formuliert er seine Anforderungen als natürlichsprachliche Beschreibung. Diese Beschreibung wird von einer Gruppe Modellierer analysiert und bestimmt, welche Muster Informationen preisgeben können, die den Anforderungen widersprechen. Hierfür ist Domänenwissen erforderlich, da beispielsweise ein Experte auf dem Gebiet *Industrie 4.0* in der Regel nicht weiß, welche Informationen sich aus unterschiedlichen Gesundheitsdaten ableiten lassen. Das Ergebnis dieser Analyse hält jeder Modellierer in einer Menge von Mustern, die es geheim zu halten gilt, sowie einer Beschreibung der benötigten Servicequalität fest. Diese Artefakte sind in einer formalen Sprache formuliert und können daher die Zugriffsschicht automatisch konfigurieren. Bei der Beschreibung der Servicequalität wird darauf eingegangen, wie hoch die Rate der *False Positives* bzw. *False Negatives* maximal sein darf. D. h. wie häufig darf eine Anwendung durch die Veränderung der Daten eine Situation falsch einschätzen. Ein *False Positive* würde bedeuten, dass eine Anwendung ein Ereignis entdeckt (z. B. „Es kam zu einem Zuckerschock“), das nicht aufgetreten ist, während *False Negative* bedeuten, dass ein aufgetretenes Ereignis nicht erkannt wurde (z. B. ein realer Zuckerschock wurde nicht erkannt). Aus den so erstellten Modellen wird eines ausgesucht, das zur Konfiguration des Systems herangezogen wird, während die Restlichen als Testfälle zur Überprüfung der Güte des ausgewählten Modells genutzt werden. Diese Testfälle werden auf sämtliche Daten, die aus der Zugriffssteuerungsschicht geschickt werden, angewandt, und es wird geprüft, ob darin ein vertrauliches Muster enthalten ist. Hierdurch kann die Konfiguration von PATRON zuverlässig verifiziert werden.

Bei der Erstellung der Muster kann es zu zwei Problemen kommen. Einerseits können die Datenschutzanforderungen eines Nutzers ein Muster erforderlich machen, das eine Anwendung vollständig obsolet machen würde. Ein Beispiel hierfür ist, dass ein Nutzer das Muster „Zuckerschock“ verheimlichen will, während die Anwendung genau dies erkennen möchte. Dadurch kommt es zu einer *False-Negatives*-Rate von 100 % wodurch die Servicequalität minimal ist. Andererseits können die Muster gegen geltendes Recht verstoßen. Es muss beispielsweise geprüft werden, ob ein Nutzer Hinweise auf Vorerkrankungen vor seiner Versicherung geheim halten darf. Daher müssen die modellierten Muster durch Juristen, die in der jeweiligen Domäne spezialisiert sind, justifiziert werden. Während die Modellierer Werkzeugunterstützung erhalten können (z. B. mittels *STPA-Priv* [Sh16]) und die Umwandlung von der natürlichsprachlichen Beschreibung in die formalen Muster zumindest halbautomatisch erfolgen kann, erfolgt die juristische Prüfung rein manuell, da es sich hierbei in der Regel um Einzelfallentscheidungen handelt.

5.2 Zugriffssteuerungsschicht

In der Zugriffssteuerungsschicht werden die definierten Muster herausgefiltert. Zu diesem Zweck kommen unterschiedliche Techniken zum Einsatz. Die Zugriffssteuerungsschicht

wählt die jeweils passende Technik aus, um eine möglichst hohe Servicequalität zu erzielen, d. h. möglichst wenige *False Positives* bzw. *False Negatives* zu verursachen. Die durch den Modellierer angegebene Servicequalität stellt dabei eine untere Schranke dar.

Zur Realisierung dieser Filtertechniken werden in PATRON in der Zugriffssteuerungsschicht zwei Komponenten eingeführt: die Musterverschleierungskomponente, die vorgegebene Muster aus einem Datenstrom entfernt und virtuelle Datenspeicher, die Daten langfristig speichern können und bei Anfragen ebenfalls keine geheimen Muster preisgeben. Im Folgenden werden diese beiden Komponenten näher beschrieben.

Musterverschleierung. Die Musterverschleierung wird durch Komponenten in der Zugriffssteuerungsschicht realisiert, die Datenquellen von Datensenken trennen. Eine Senke kann sowohl eine Anwendung als auch ein Operator in einem *DSS* sein. Der Datenfluss wird in den Komponenten analysiert und daraufhin untersucht, ob sich daraus die zu schützenden Muster ableiten lassen. Dabei werden nicht nur die aktuellen Daten berücksichtigt sondern auch sämtliche Daten, die in der Vergangenheit an die Senke weitergeleitet wurden. Zur Verschleierung der Muster stehen diesen Komponenten mehrere Möglichkeiten zur Verfügung, z. B. indem bestimmte Daten nicht weitergeleitet werden, die zeitliche Abfolge der Daten verändert wird oder die Daten durch Rauschen verfremdet werden. Welche dieser Techniken angewandt wird, hängt von der Anwendung ab, an die die Daten weitergeleitet werden. Hierbei muss berücksichtigt werden, wie die Daten verarbeitet werden (z. B. hat eine Änderung an der zeitlichen Abfolge der Daten keinen Einfluss, wenn diese anschließend in aggregierter Form weiterverarbeitet werden) und welchen Einfluss die Änderung auf die Servicequalität der Anwendung hat (z. B. kann ein Muster $\{A; B\}$ dadurch verschleiert werden, indem das Datum A nicht weitergeleitet wird; dies sorgt aber auch dafür, dass $\{A; C\}$ nicht mehr erkannt werden kann, obwohl dieses Muster unkritisch ist). Daher werden die Techniken stets so ausgewählt, dass alle kritischen Muster verschleiert werden, der Einfluss auf die Servicequalität allerdings minimal ist.

Virtuelle Datenspeicher. Virtuelle Datenspeicher sind geschützte Container, die Anwendungen oder einem *DSS* Daten zur Verfügung stellen. Nach außen verhalten sie sich wie herkömmliche Datenbanken. In den virtuellen Datenspeichern werden Daten aus Quellsystemen (sowohl Sensordaten als auch Daten aus Datenbanken) vorgehalten. Diese Daten werden bei der Einspeisung bereits an die Datenschutzeinstellungen angepasst, d. h. die Daten werden bereits teilweise verschleiert oder aggregiert abgespeichert. Anwendungen können Daten direkt von dem virtuellen Datenspeicher anfordern. In diesem Fall werden die eingehenden Anfragen dahingehend umgeschrieben, dass keine der vorgegebenen Muster erkannt werden können. Zusätzliche Schutzmaßnahmen (z. B. Datenverschlüsselung) sorgen dafür, dass die Daten der Nutzer geschützt sind (siehe Stach und Mitschang [SM15; SM16]). Darüber hinaus können die virtuellen Datenspeicher aber auch mit den Operatoren des *DSSs* zusammenarbeiten. Ähnlich wie in der Kappa-Architektur [Kr14] dient der Datenspeicher als Quellsystem für das *DSS*. Zusätzlich zu den Daten liegt im virtuellen Datenspeicher aber auch eine Konfiguration für das *DSS*, d. h. die anzuwendenden Musterverschleierungstechniken, vor. Dadurch kann das *DSS* mit den Daten der Datenspeicher arbeiten, als ob

diese von einem weiteren Sensor stammen würden, und es können sich eventuell ergebende Muster herausgefiltert werden.

Dass beide Komponenten nötig sind, zeigt sich an dem beschriebenen *E-Health*-Szenario. So kann es für eine Analyse nötig sein, dass aktuelle Gesundheitswerte unter Berücksichtigung des Krankheitsverlaufs des letzten Jahrs untersucht werden müssen. Hierfür sind sowohl Sensordaten als auch historische Daten aus einem Datenspeicher nötig. Nur durch die Integration beider Komponenten in der Zugriffssteuerungsschicht kann sichergestellt werden, dass nicht nur jede Komponente für sich betrachtet keine Muster preisgibt, sondern auch, dass dies durch die Kombination der beiden nicht der Fall ist.

6 Evaluation

Im Folgenden soll untersucht werden, inwiefern PATRON die in Abschnitt 3 aufgestellten Anforderungen an ein Datenschutzsystem für das *IoT* erfüllt.

Aufgrund der natürlichsprachlichen Beschreibung der Anforderungen durch den Nutzer ist die Konfiguration von PATRON sehr einfach (A). Er kann hierbei Zusammenhänge beschreiben, die durch Modellierer in komplexe Muster übersetzt werden. Dadurch ist der Schutz nicht auf einzelne Attribute beschränkt, was zu restriktiv für ein solches Datenschutzsystem wäre (B). Die Zugriffssteuerungsschicht kann sowohl Sensordaten aus Strömen als auch historische Daten aus Datenspeichern verarbeiten und Muster darin verbergen (C) und (D). Zusätzlich ist sie durch die enge Integration der beiden Verarbeitungsarten in der Lage, Muster zu verbergen, die sich erst durch die Kombination von Daten aus beiden Quellen ergeben. Dadurch dass Domänenexperten die Muster aus den Anforderungen ableiten, sind diese stets auf die jeweilige Domäne angepasst. D. h. die gleichen Datenschutzanforderungen eines Nutzers führen je nach Domäne zu unterschiedlichen Mustern. Dadurch kann die Servicequalität maximiert werden (E). Die Güte der definierten Muster wird dauerhaft überprüft, indem die freigegebenen Daten gegen definierte Testfälle abgeglichen werden. Auf diese Weise kann die Konfiguration des Systems verifiziert werden (F). Die Muster legen dabei nur fest was, aber nicht wie geschützt werden soll. Dadurch bleibt PATRON sehr flexibel und kann unterschiedliche Techniken zum Schutz der Muster nutzen, z. B. eine Änderung der Datenreihenfolge oder eine Veränderung von bestimmten Werten (G). Aufgrund dieser Flexibilität ist PATRON in der Lage, die Servicequalität zu maximieren, da stets die Technik ausgewählt wird, mit der die zu schützenden Muster verheimlicht werden und die Anwendung dennoch mit der bestmöglichen Datenqualität versorgt werden kann (H). PATRON erfüllt somit sämtliche in Abschnitt 3 aufgestellte Anforderungen.

7 Zusammenfassung

IoT-Anwendungen werden zunehmend komplexer bezüglich der darin verwendeten Sensordaten und deren Verknüpfungen. Dadurch lassen sich weitreichende Rückschlüsse über die

Nutzer ziehen. Aus diesem Grund sind umfassende Datenschutzmaßnahmen erforderlich. Der Gesetzgeber reagiert darauf mit einer Verschärfung der EU-Datenschutzgrundverordnung. Aus Nutzersicht sind allerdings auch technische Maßnahmen erforderlich, mit denen der Nutzer die Kontrolle über seine Daten erhält. Die aktuell verfügbaren Datenschutzsysteme sind allerdings nicht auf die speziellen Anforderungen von *IoT*-Anwendungen zugeschnitten.

Mit PATRON stellen wir ein neuartiges Datenschutzsystem für das *IoT* vor. Damit kann der Nutzer sehr einfach seine Datenschutzanforderungen beschreiben. Diese werden von Experten in Muster transformiert und auf Echtzeitdaten und historischen Daten angewandt. Dabei stehen unterschiedliche Algorithmen zur Verfügung. PATRON wählt stets den Algorithmus aus, der die Anwendung mit den besten respektive meisten Daten versorgt, damit dem Nutzer die bestmögliche Servicequalität geboten wird. PATRON analysiert ebenfalls sämtliche Daten, die einer Anwendung zur Verfügung gestellt werden, um verifizieren zu können, dass die zu verheimlichenden Muster daraus nicht abgeleitet werden können. Anhand eines *E-Health*-Szenarios wurde unser Ansatz evaluiert und gezeigt, dass er alle Anforderungen an ein Datenschutzsystem erfüllt. Damit ist der Nutzer in der Lage, jedes beliebige Muster gegenüber einer Anwendung zu verschleiern. Dies wirft allerdings die Frage auf, ob er dies aus rechtlicher Sicht auch darf. Einerseits ist zu klären, wer der Besitzer der Daten ist (z. B. geben Kalendereinträge eines Nutzers auch oft Informationen über andere Teilnehmer an diesen Terminen preis), und andererseits muss geklärt werden, welche Muster nicht verheimlicht werden dürfen (z. B. Hinweise auf Vorerkrankungen gegenüber einer Krankenkasse).

Danksagung

Wir danken der Baden-Württemberg Stiftung für die Förderung der in diesem Artikel vorgestellten Forschungsarbeiten. Beim PARTON-Projekt handelt es sich um einen Forschungsauftrag, der aus Mitteln der Baden-Württemberg Stiftung finanziert wird.

Literatur

[AC08] Armando, A.; Compagna, L.: SAT-based model-checking for security protocols analysis. International Journal of Information Security 7/1, S. 3–32, 2008.

[Al12] Almaghrabi, R. et al.: A novel method for measuring nutrition intake based on food image. In: I2MTC ’12. S. 366–370, 2012.

[BL01] Ball, M. J.; Lillis, J.: E-health: transforming the physician/patient relationship. International Journal of Medical Informatics 61/1, S. 1–10, 2001.

[Br12] Brown, W. J. et al.: Multitenancy - Security Risks and Countermeasures. In: NBIS ’12. S. 7–13, 2012.

[Ca09] Cao, J. et al.: ACStream: Enforcing Access Control over Data Streams. In: ICDE '09. S. 1495–1498, 2009.

[Fe11] Felt, A. P. et al.: The Effectiveness of Application Permissions. In: WebApps '11. S. 1–12, 2011.

[Kn10] Knöll, M.: "On the Top of High Towers . . . " Discussing Locations in a Mobile Health Game for Diabetics. In: MCCSIS '10. S. 61–68, 2010.

[Kr14] Kreps, J.: Questioning the Lambda Architecture, O'Reilly Media, Juli 2014, URL: https://www.oreilly.com/ideas/questioning-the-lambda-architecture.

[Ku13] Kumar, S. et al.: Mobile Health: Revolutionizing Healthcare Through Transdisciplinary Research. Computer 46/1, S. 28–35, 2013.

[Kw11] Kwapisz, J. R. et al.: Activity Recognition Using Cell Phone Accelerometers. ACM SIGKDD Explorations Newsletter 12/2, S. 74–82, 2011.

[LM06] Lindner, W.; Meier, J.: Securing the Borealis Data Stream Engine. In: IDEAS '06. S. 137–147, 2006.

[Me12] Mehta, D. D. et al.: Mobile Voice Health Monitoring Using a Wearable Accelerometer Sensor and a Smartphone Platform. IEEE Transactions on Biomedical Engineering 59/11, S. 3090–3096, 2012.

[Mi10] Migliavacca, M. et al.: DEFCON: High-performance Event Processing with Information Security. In: USENIXATC '10. S. 1–15, 2010.

[MX07] Martin, E.; Xie, T.: A Fault Model and Mutation Testing of Access Control Policies. In: WWW '07. S. 667–676, 2007.

[Sh16] Shapiro, S. S.: Privacy Risk Analysis Based on System Control Structures: Adapting System-Theoretic Process Analysis for Privacy Engineering. In: SPW '16. S. 17–24, 2016.

[SM15] Stach, C.; Mitschang, B.: Der Secure Data Container (SDC) – Sicheres Datenmanagement für mobile Anwendungen. Datenbank-Spektrum 15/2, S. 109–118, 2015.

[SM16] Stach, C.; Mitschang, B.: The Secure Data Container: An Approach to Harmonize Data Sharing with Information Security. In: MDM '16. S. 292–297, 2016.

[SS12] Stach, C.; Schlindwein, L. F. M.: Candy Castle — A Prototype for Pervasive Health Games. In: PerCom '12. S. 501–503, 2012.

[St16] Stach, C.: Secure Candy Castle — A Prototype for Privacy-Aware mHealth Apps. In: MDM '16. S. 361–364, 2016.

[Wa07] Wang, Q. et al.: On the Correctness Criteria of Fine-grained Access Control in Relational Databases. In: VLDB '07. S. 555–566, 2007.

[YL13] Young, W.; Leveson, N.: Systems Thinking for Safety and Security. In: ACSAC '13. S. 1–8, 2013.

Modellierung4DH – Modellierungsfragen in den Digitalen Geisteswissenschaften

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 1099

Workshop 15: Modellierung4DH – Modellierungsfragen in den Digitalen Geisteswissenschaften

Andreas Henrich[1], Georg Hohmann[2], Sabine Bartsch[3], Piotr Kuroczyński[4]

1 Motivation und Themenstellung

Modellierungsfragen sind immer ein kritischer Erfolgsfaktor für Projekte in den Digitalen Geisteswissenschaften. Die zugrundeliegenden Herausforderungen zeigen sich beispielsweise bei Digitalen Editionen, der Dokumentation von Kulturgut, digitaler Denkmalpflege, Kunst- und Architekturgeschichte, bei der Anwendung und Umsetzung von Standardformaten oder bei der Herstellung von Interoperabilität und der Nachnutzbarkeit. Hierzu bietet der Workshop mit seinen Beiträgen Forschenden aus den Geisteswissenschaften, den Digital Humanities und der Informatik ein Forum für den fachlichen Austausch.

Der Workshop wird gemeinsam getragen von den verschiedenen Arbeitsgruppen des Verbands „Digital Humanities im deutschsprachigen Raum“ (DHd e.V.). Beiträge wurden unter anderem zu konkreten Modellierungsfragen aus Fachdomänen, dem methodischen Vorgehen sowie Regeln für die Nutzung und Weiterentwicklung von Standards erbeten.

2 Inhaltliche Schwerpunkte

Durch die vielfältigen Einreichungen von hoher Qualität und thematischer Relevanz (11 der 14 Einreichungen konnten angenommen werden) ergeben sich für den Workshop und seine Beiträge insbesondere Schwerpunkte in folgenden Bereichen:

- Prozess- und Workflowmodellierung für geisteswissenschaftliche Anwendungen
- Die tiefe Modellierung geisteswissenschaftlicher Datenbestände
- Die Nutzung unterschiedlicher Modelle (relational, NoSQL, Graphen ...) für geisteswissenschaftliche Daten

[1] Otto-Friedrich-Universität Bamberg, Medieninformatik, An der Weberei 5, 96047 Bamberg, andreas.henrich@uni-bamberg.de
[2] Deutsches Museum, Forschungsinstitut für Technik- und Wissenschaftsgeschichte, Museumsinsel 1, 80538 München, g.hohmann@deutsches-museum.de
[3] Technische Universität Darmstadt, Institut für Sprach- und Literaturwissenschaft, Landwehrstraße 50A, 64293 Darmstadt, bartsch@linglit.tu-darmstadt.de
[4] Hochschule Mainz, Angewandte Informatik und Visualisierung im Bauwesen, Holzhofstraße 8, 55116 Mainz, piotr.kuroczynski@hs-mainz.de

doi:10.18420/in2017_111

- Die Modellierung domänenspezifischer Perspektiven
- Semantische Datenmodellierung mit CIDOC CRM

Durch die verschiedenen Beiträge ergibt sich insgesamt ein sehr guter Blick auf die unterschiedlichen Problemstellungen bei der Modellierung für geisteswissenschaftliche Fragestellungen und mögliche Lösungsansätze.

3 Programmkomitee

Dem Programmkomitee gehörten neben den Initiatoren des Workshops an:

- Daniel Blank, Medieninformatik, Otto-Friedrich-Universität Bamberg
- Burkhard Freitag, Informationsmanagement, Universität Passau
- Günther Görz, Arbeitsgruppe Digital Humanities, Universität Erlangen-Nürnberg
- Tobias Gradl, Medieninformatik, Otto-Friedrich-Universität Bamberg
- Gerhard Heyer, Automatische Sprachverarbeitung, Universität Leipzig#

Wir bedanken uns bei den Mitgliedern des Programmkomitees und den Organisatoren der 47. Jahrestagung der Gesellschaft für Informatik e.V. für die Ermöglichung des Workshops und die hervorragende Unterstützung.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 1101

Prozessmodellierung mittels BPMN in Forschungsinfrastrukturen der Digital Humanities

Christoph Kuras[1], Thomas Eckart[2]

Abstract: In den Geistes- und Sozialwissenschaften werden Arbeitsprozesse zunehmend unter den Gesichtspunkten Reproduzierbarkeit, Wiederverwendbarkeit, erhöhte Transparenz und Flexibilität bewertet. Entsprechend werden verstärkt sogenannte „Scientific Workflows“ eingesetzt, um erstellte Verarbeitungsketten zu persistieren, verständlich und austauschbar zu machen. Bestehende Portale leiden allerdings an einer Uneinheitlichkeit der verwendeten Beschreibungslösungen und können nur in Teilen die an sie gestellten Anforderungen erfüllen. Dies ist insbesondere im Umfeld komplexer Forschungsinfrastrukturen, wie sie in den letzten Jahren verstärkt entwickelt werden, hoch relevant. Als Alternative können standardisierte Modellierungen auf Basis der BPMN (Business Process Model and Notation) die Vergleichbarkeit und Kombinierbarkeit von Teilschritten erleichtern und als Hilfsmittel dienen, um den systematischen Konflikt der Reproduzierbarkeit von Forschungsergebnissen unter Beibehaltung maximal möglicher Flexibilität aufzulösen. Entsprechende Modellierungen bieten zudem den Vorteil, die direkte Ausführbarkeit der beschriebenen Arbeitsschritte im Rahmen etablierter und quelloffener Workflow-Management-Systeme (WfMS) zu ermöglichen.

Keywords: Scientific Workflows; Forschungsinfrastrukturen; BPMN

1 Prozess- und Workflowmodellierung in wissenschaftlichen Communities

Der zunehmende Einfluss quantitativer Analysen und Verfahren auf die alltägliche Arbeitsweise der Geistes- und Sozialwissenschaften in den letzten Jahren haben zu einem zunehmenden Einfluss IT-basierter Hilfsmittel und Werkzeuge geführt. Damit vollziehen einige dieser Fachbereiche eine Entwicklung zu Arbeitsweisen wie sie bisher eher typisch für die Natur- und Lebenswissenschaften sind und wecken gleichzeitig vergleichbare Ansprüche bzgl. der Reproduzierbarkeit konkreter Experimente und Analysen (sogenannte „Reproducible Science“) oder der effizienten Wiederverwendung bestehender Systeme für neue Datenbestände.

[1] Universität Leipzig, Abteilung Automatische Sprachverarbeitung, Augustusplatz 10, 04109 Leipzig, Deutschland
ckuras@informatik.uni-leipzig.de
[2] Universität Leipzig, Abteilung Automatische Sprachverarbeitung, Augustusplatz 10, 04109 Leipzig, Deutschland
teckart@informatik.uni-leipzig.de

doi:10.18420/in2017_112

Folgerichtig hat dieser Trend zur zunehmenden Nutzung von Scientific-Workflow-Management-Systemen (SWfMS) geführt, die sich in ähnlicher Form in den bereits angesprochenen Vorbildern großer Beliebtheit erfreuen[3]. Die konkret verwendeten Werkzeuge haben meist gemein, dass sie primär datengetrieben arbeiten und sich, unter Ausklammerung typischer Interoperabilitätsprobleme, durch Verkettung von Teilschritten zu komplexen Workflows kombinieren lassen.
Offensichtlich ist hier die Parallele zum, in der Betriebswirtschaft verbreiteten, Geschäftsprozessmanagement. Wie auch Geschäftsprozesse sollen Scientific Workflows beschreiben, was getan wird, jedoch nicht zwangsläufig Informationen zur konkreten Umsetzung enthalten, um die leichtere Verständlichkeit für eine breite Gruppe von Adressaten, etwa auch Personen mit geringen technischen Vorkenntnissen, zu verbessern (vgl. [Wo09]). Im deutlichen Kontrast zum Geschäftsprozessmanagement spielen in den SWfMS die betrieblichen Aspekte jedoch keine Rolle. Ziel von SWfMS ist es primär, komplexe computergestützte Experimente automatisieren zu können, wobei auch auf verteilte Daten und Dienste zugegriffen werden kann, so dass rechenintensive Workflows auch auf leistungsschwachen Rechnern lauffähig sind (vgl. [Wo09]). Bemerkenswert ist der teils synonyme Gebrauch der Begriffe *Prozess* und *Workflow* in den entsprechenden Publikationen, deren Unterscheidung zumindest aus betriebswirtschaftlicher Sicht eine hohe Bedeutung aufweist.

Als ein Ergebnis dieser Entwicklung haben sich Portale herausgebildet, die dem Austausch konkreter Workflows dienen. Beispielhaft sei hier auf das Portal *myExperiment.org* verwiesen, auf dem Nutzer Workflows für verschiedene Systeme teilen können. Im konkreten Einsatz (dokumentiert durch öffentliches Nutzerfeedback) ergeben sich allerdings diverse Probleme. Für eingetragene Workflows bestehen kaum Qualitätskontrollen: es existiert keine systematische Überprüfung der versprochenen Funktionalität, häufig sind extern eingebundene Dienste nicht oder nicht mehr verfügbar. Einblendungen weisen teils darauf hin, dass Verarbeitungsketten veraltete Dienste nutzen, dennoch ist dieser Zustand für viele Nutzer unbefriedigend (vgl. [my17a]). Offensichtlich ist auch die fehlende Einheitlichkeit verwendeter Beschreibungsmittel: verwendet werden verschiedenste Beschreibungssprachen, was teils zu einer Abhängigkeit zwischen Werkzeug und Modell führt und eine integrierte Nutzung von Modellen erschwert. Bei genauer Betrachtung der Workflows fällt zudem auf, dass viele Workflows die funktionale Beschreibung (Was?) nicht von Implementierungsdetails (Wie?) trennen, so dass teils technische Arbeitsschritte (wie spezifische Datentransformationen mit Referenzen auf konkrete Technologien) beschrieben werden und zu einer Vermischung der fachlichen und der operativen Ebene führen (vgl. [my17b]).
Gerade diese, im Geschäftsprozessmanagement übliche, Trennung sorgt allerdings für die Verständlichkeit und Nachvollziehbarkeit der dargestellten Vorgänge bei IT-fernem Personal, wie sie gerade für interdisziplinäre Arbeitsgruppen bzw. den gesamten Bereich der eHumanities typisch sind. Geprägt sind diese Fachbereiche durch die unterschiedlichsten Ausmaße technischer Fertigkeiten der beteiligten Personen, so dass die erfolgreiche Ausführung konkreter Workflows nicht in allen Fällen gelingen wird. In der Konsequenz kann ein Portal

[3] Wie etwa Kepler (https://kepler-project.org) oder Taverna (https://taverna.incubator.apache.org) in der Bioinformatik.

wie myExperiment.org auch als Sammlung von Insellösungen betrachtet werden, deren effektiver Wert und Nachvollziehbarkeit für Dritte variiert.

2 Forschungsinfrastrukturen

Als Antwort auf die angesprochenen Tendenzen wurden in den letzten Jahren verschiedene Lösungsstrategien erarbeitet. Unter diese fällt auch der Aufbau dedizierter Forschungsinfrastrukturen, die den Fachwissenschaftlern (mehr oder weniger) integrierte Anwendungen anbieten. Als ein Vorteil dieses Ansatzes wird gesehen, dass gemeinschaftlich und auch fachübergreifend erarbeitete Standards und Anwendungen helfen, den vorhandenen Bestand an Daten und Werkzeugen auch für unerfahrene Nutzer systematisch zu erschließen, Doppelarbeit und die Schaffung „isolierter“ Ressourcen zu vermeiden und somit deren Wiederverwendung zu erleichtern. Konkrete Ausprägungen solcher Forschungsinfrastrukturen sind zum Beispiel CLARIN ([HK14]) oder DARIAH ([GH16]), die teils überlappende Nutzergruppen der Geistes-, Sozial- und Kulturwissenschaften adressieren.

Der grundlegenden Idee solcher Umgebungen wird allerdings teils mit Skepsis begegnet. Grundsätzliche Vorbehalte beinhalten vor allem die Frage nach der angemessenen Einbindung der Fachwissenschaftler (vgl. [BMS16]), nach fehlender Flexibilität und Spezifität entwickelter Lösungen, um im volatilen Forschungsbetrieb von Nutzen zu sein sowie die Gefahr des Aufoktroyierens ungeeigneter Lösungen durch Fachfremde. Pointiert zusammengefasst wurde dies zum Beispiel durch Joris van Zundert:

A 'one size fits all' approach would be a disastrous underestimation of the specific needs of humanities research. The essence of humanities research is in its diverse, heterogeneous and ephemeral nature. [Zu12, S.8]

bzw.

The quick technology shifts and development of thinking that research innovation requires cannot be supported through these large unified infrastructures. [Zu12, S.11]

Als alternative Lösung schlägt er den dezentralen und Community-getriebenen Einsatz von Microservices vor, die unter Wahrung der Möglichkeit optionaler Verkettung zu komplexen Verarbeitungsketten auf Basis des JSON-Formats kurzlebige Forschung erlaubten. Zentrale Ziele der Systematisierung von Forschung durch Forschungsinfrastrukturen, wie die Nachvollziehbarkeit von Ergebnissen, Interoperabilität[4], Motivation zur offenen Bereitstellung sowie öffentliches Announcement verfügbarer Ressourcen, langfristige Vorhaltung relevanter Ergebnisse usw., wird durch diesen Ansatz allerdings nicht adressiert. Dass van Zunderts Vorstellung einer sich selbst unterhaltenden „Forschungsinfrastruktur“, die als Grundlage des Austausches lediglich das Internet benötigt, optimistisch gedacht ist, zeigt sich auch an den Problemen des bereits beschriebenen *myExperiment.org*, das

[4] Die sich natürlich auch durch die Verwendung einfacher JSON-Formate nicht automatisch einstellt.

seiner geschilderten Vision recht nahe kommt, aber weder Qualität, Verständlichkeit oder gar Persistenz der angebotenen Dienste garantieren kann. Wenig Beachtung erfährt auch die Rollenverteilung, die beteiligte Personen typischerweise im Entwicklungsprozess einnehmen: Fachwissenschaftler mit zusätzlicher hoher Kompetenz in den Bereichen Softwaredesign und -entwicklung, Usability, Metadatengenerierung und -verteilung usw. sind und bleiben weiterhin eine Ausnahme.
Trotzdem bleibt aus der Perspektive der verschiedenen Infrastrukturprojekte die Frage nach angemessenen Antworten auf diese berechtigten Einwände und einer geeigneten Interessenabwägung im dargestellten Kontext. Um im Wettbewerb mit konkurrierenden Ansätzen die geforderten Leistungsmerkmale sicherzustellen (wie Verfügbarkeit, Qualität, Integration, Nutzerorientierung, Offenheit), ist zwangsläufig ein planvolles Vorgehen nötig und die Bereitschaft, die eigene Rolle im wissenschaftlichen Umfeld zu überdenken. Dabei sollte im Sinne einer verbesserten Nutzerorientierung in einem extrem volatilen Umfeld die eigene Rolle stärker als Dienstleister begriffen werden, der für seine Kunden (unabhängig von unmittelbarer finanzieller Abhängigkeit) Lösungen bzw. Vorarbeiten anbietet. Entsprechend ist hier die Parallele von Forschungsinfrastrukturen und dem wirtschaftlichen Betrieb eines privaten Unternehmens zu betonen und die Chance zu ergreifen, von vorhandenen Erfahrungswerten des Geschäftsprozessmanagements zu profitieren.

3 Forschungsinfrastrukturen im Wettbewerb

Aufgrund der Parallelen zu privatwirtschaftlichen Unternehmen greifen Scientific Workflows zum Zwecke der Modellierung von Arbeitsabläufen in Forschungsinfrastrukturen zu kurz, da sie wesentliche ökonomische Konzepte völlig außer Acht lassen und sich weitestgehend auf die Verkettung von ggf. verteilten Arbeitsschritten beschränken. Diese Konzepte sind aber notwendig, damit Betreiber von Forschungsinfrastrukturen tatsächlich effektiv, effizient und kundenorientiert agieren können[5]. Dabei können interne Faktoren, die im Einflussbereich des Unternehmens liegen und externe Faktoren, außerhalb des unternehmerischen Einflussbereiches, unterschieden werden. Letztere beinhalten die Kundenzufriedenheit, aber auch Wettbewerber, während interne Faktoren die Effizienz und Wirtschaftlichkeit, welche den unternehmerischen Erfolg gewährleisten sollen, widerspiegeln (vgl. [BKR12, S.3f]).

Die Vorteile einer durch Geschäftsprozessmanagement unterstützten unternehmerischen Ausrichtung von Forschungsinfrastrukturen sind vielfältig. Besonders hervorzuheben ist hier das „Marktumfeld“, das durch eine hohe Volatilität geprägt ist. Es liegt in der Natur der Forschung, einem schnellen und kontinuierlichen Wandel unterworfen zu sein. Änderungen des Marktumfeldes betreffen dabei nicht nur die Nutzer und deren sich ändernde Anforderungen selbst, sondern auch das Agieren möglicher Wettbewerber, die etwa plötzlich neue Angebote entwickeln oder sich anderen Nutzergruppen zuwenden können (vgl. [BKR12, S.3f]; [Ch15, S.17ff]). Auch im wissenschaftlichen Bereich kann es zum Wettbewerb mit

[5] Obwohl Nutzer in akademischen Forschungsinfrastrukturen meist keine monetären Gegenleistungen erbringen, werden die Begriffe *Kunde* und *Nutzer* hier synonym verwendet.

akademischen oder kommerziellen Anbietern kommen. Da Projekte im akademischen Umfeld zumeist eine Förderung beziehen, besteht der Anreiz zu einer wettbewerbsfähigen Gestaltung der Organisationsstruktur jedoch oft nicht von Beginn an, was mit dem Ende der Förderung jedoch zu erheblichen Problemen oder sogar zur Einstellung des Vorhabens führen kann. Damit einher geht die Notwendigkeit, möglichst effizient zu wirtschaften, um Fördermittel zielgerichtet einsetzen, aber auch, um zum Ende der jeweiligen Förderphase die Sinnhaftigkeit des Weiterbetriebes rechtfertigen zu können.
Dabei spielen durchaus auch nicht-monetäre Aspekte eine Rolle. Unternehmen müssen durchgehend kundenorientiert agieren, um ihre Leistungen am Markt erfolgreich absetzen zu können. Forschungsinfrastrukturen müssen analog von Beginn an nutzerorientiert handeln, da sie andernfalls Gefahr laufen, ihr Angebot abseits des eigentlichen Bedarfs anzusiedeln und somit ihre primären Ziele nicht erfüllen zu können. Dabei müssen nicht nur die *benötigten* Leistungen angeboten werden: wenn Unternehmen ihre Leistungen in unzureichender Qualität anbieten, wechseln Kunden, unter Abwägung aller Kosten (auch Such- und Informationskosten), möglicherweise zu anderen Anbietern. Da im akademischen Bereich monetäre Kosten keine vergleichbare Rolle spielen, ist dieser Aspekt von besonderer Relevanz. Entsprechend müssen für Forschungsinfrastrukturen eine hohe Qualität ihres Angebotes sowie eine hohe Zufriedenheit ihrer Nutzer ein herausragendes Ziel sein: etliche der in [Zu12] angesprochenen Probleme sind vor allem durch mangelnde Nutzer- bzw. Kundenorientierung zu begründen.
Viele dieser Ziele werden durch den Einsatz von Geschäftsprozessmanagement (GPM) unterstützt. Dabei handelt es sich um ein Management-Konzept, das auf mehreren Ebenen ansetzt (vgl. [Ga12, S.1ff]). Auf der strategischen Ebene werden zunächst die unternehmerischen Ziele und die zentralen Geschäftsfelder und die dazugehörigen Kernprozesse festgestellt. Diese werden auf der fachlich-konzeptionellen Ebene als Geschäftsprozesse modelliert. Darüber hinaus werden Kennzahlen definiert, die mit den Zielen bzw. den kritischen Erfolgsfaktoren der strategischen Ebene in Verbindung gebracht werden. Solche Kennzahlen werden systematisch in Form eines Kennzahlensystems dokumentiert und reichen von allgemeinen Kennzahlen wie Durchlaufzeiten und Fehlerraten bis hin zu spezifischen Kennzahlen, die nur in bestimmten Teilaufgaben des Prozesses gemessen werden, etwa die Anzahl von Sätzen im Rahmen der Erzeugung von Textkorpora. Auf der operativen Ebene werden die zuvor modellierten Prozesse durch zusätzliche technische Spezifikationen ausführbar gemacht - erst ein ausführbarer Prozess wird Workflow genannt (vgl. [Ga15, S.5]). Während der Ausführung durch ein Workflow-Management-System werden die zu Beginn definierten Kennzahlen erfasst und mit vorher definierten Soll-Werten verglichen, wodurch Rückschlüsse auf Schwachstellen und Probleme gezogen werden können und letztlich die Erreichung der unternehmerischen Ziele kontrolliert werden soll. In dieser Arbeit werden hauptsächlich die fachliche und die operative Ebene betrachtet. Für einen umfassenden Einsatz von GPM müssen jedoch unbedingt alle Ebenen bzw. Phasen Beachtung finden. Tabelle 1 enthält eine Zusammenfassung der wesentlichen Vorteile, die der Einsatz von GPM für Unternehmen bzw. für Betreiber von Forschungsinfrastrukturen mit sich bringen kann.
Ein wichtiger Bestandteil des GPM ist die Modellierung von Geschäftsprozessen und deren

spätere voll- oder teilautomatisierte Ausführung in Form von Workflows. Aufgrund der oben beschriebenen Parallelen zu privatwirtschaftlichen Unternehmen und der damit verbundenen Ziele können auch akademische Serviceanbieter von diesem Konzept profitieren.

Vorteil	**im akademischen Bereich**
Effizienzsteigerung und Kostensenkung	
- Straffung der Abläufe - Reduzierung der Durchlaufzeiten	- Effiziente Nutzung von Fördermitteln - Schnellere Forschungsergebnisse durch Integration halb-automatisierter und manuell ausgeführter Aufgaben in den Arbeitsablauf
Transparenz	
- Klare Spezifikation der Leistung - Klare Verantwortlichkeiten - Leichtere Kommunikation zwischen Fach- und IT-Bereich - Dokumentation	- Abstimmung mit Fachbereichen - Nachvollziehbarkeit auch für IT-fernes Personal - Reproduzierbarkeit (ausführbare Workflows) - Schnellere Einarbeitung für rasch wechselndes Personal
Flexibilität	
- Ergebnisorientierte Integration über Funktionsbereiche hinweg - Bessere Ausrichtung an Kundenbedürfnissen	- Schnelle Reaktion auf geänderte Anforderungen durch neue Forschungsfragen

Tab. 1: Vorteile des Einsatzes von GPM

Konkret ermöglichen Modelle von Geschäftsprozessen eine bessere Kommunikation zwischen dem Fach- und dem IT-Bereich. Während Scientific Workflows keine Trennung des Adressatenkreises vornehmen, wird im GPM strikt zwischen der fachlichen und der operativen Ebene, welche die technischen Details zur Ausführung der Prozesse (Workflows) enthält, unterschieden. Diese Art der Dokumentation führt neben der verbesserten Anforderungsermittlung auch dazu, dass alle Mitarbeiter, unabhängig ihrer Domäne, eine gemeinsame Vision der Prozesse entwickeln können. In Bezug auf akademische Organisationen, die oft eine hohe Personalfluktuation aufweisen, kann dies ein zusätzlicher Vorteil sein, da die Einarbeitung in die Prozesse dadurch erleichtert wird. Darüber hinaus wird unter allen Prozessbeteiligten ein stärkeres Bewusstsein für die zu erbringende Leistung und, welche Rolle die Beteiligten konkret im Prozess einnehmen, gefördert. Eine umfassende Dokumentation und Möglichkeiten der schnellen Anpassbarkeit können als wesentliche Voraussetzungen für den Erfolg von Forschungsinfrastrukturen gesehen werden (vgl. [Gn17, S.16]).

Besonders leistungsfähig sind ausführbare Prozesse, sogenannte Workflows. Diese enthalten alle technischen Spezifikationen oder Arbeitsanweisungen, um den Prozess automatisiert ausführen zu können (vgl. [Ga15, S.5]). Dies geschieht durch ein Workflow-Management-System (WfMS), welches bei Bedarf Echtzeitinformationen während der Laufzeit der Workflows liefert. Neben der internen Dokumentation eignen sich Prozessmodelle auch dazu, die Abläufe für den Kunden transparenter zu gestalten, etwa durch vereinfachte

Prozessmodelle bzw. Service Blueprints (vgl. [Fl09, S.215]). So kann der Nutzer auch bei einer längeren Bearbeitungsdauer nachvollziehen, in welchem Arbeitsschritt der Prozess sich gerade befindet und ist somit toleranter gegenüber längeren Wartezeiten, sofern sie der Komplexität des ausgeführten Schrittes entspricht. Gerade in Forschungsinfrastrukturen, bei denen die Nutzer selbst Daten einbringen und bezüglich der Verarbeitungsdauer keine Erfahrungswerte mitbringen, kann dies sehr nützlich sein. Zusätzlich können durch längerfristige Analysen der Laufzeitdaten Flaschenhälse identifiziert werden, die dann, etwa durch Restrukturierung des Prozesses oder den Austausch der in den Teilschritten des Workflows enthaltenen Arbeitslogik einzelner Schritte, gezielt adressiert werden können.

Ein wesentlicher Unterschied zu Scientific Workflows ist zudem, dass Geschäftsprozesse im Besonderen dafür ausgelegt sind, auch manuell durchgeführte Arbeitsschritte oder Unterprozesse zu berücksichtigen. Dieser Aspekt kommt vielen Communities entgegen, in denen die Skepsis gegenüber einer vollautomatisierten Verarbeitung in einem als „Blackbox“ empfundenen System groß sein kann. Die Steigerung der Prozesstransparenz durch den Einsatz von Modellen ist daher ein wichtiger Aspekt. Durch den Einsatz von Geschäftsprozessmanagement können manuelle Bearbeitungsschritte bestehen bleiben, erhalten aber durch die Modellierung definierte In- und Outputs sowie eine nachvollziehbare Position im Gesamtprozess. Um unnötigen Aufwand zu vermeiden, werden dabei allerdings lediglich solche Aufgaben modelliert, die der Erreichung des jeweiligen Prozessziels dienlich sind. Im folgenden Abschnitt sollen anhand eines konkreten Beispiels diese Punkte verdeutlicht werden.

4 Korpuserzeugung - Modellierung am Beispielprozess

4.1 Prozessbeschreibung

In diesem Abschnitt wird beispielhaft ein Prozess des CLARIN-Zentrums Leipzig vorgestellt. Anhand der Ist-Situation sollen wesentliche Probleme aufgezeigt werden, die mit Hilfe eines WfMS adressiert werden können. Auf Basis des Prozessmodells des Soll-Zustands sollen anschließend einige Vorteile des Einsatzes eines WfMS verdeutlicht werden. Der Prozess zur Erstellung von Textkorpora (Datenbanken) aus den Inhalten gecrawlter Webseiten ist eine über viele Jahre gewachsene Verkettung einzelner Tools, die jeweils bestimmte Aufgaben übernehmen, um aus Textdokumenten ein Textkorpus, bestehend u.a. aus einer nach ihrer Frequenz sortierten Wortliste, extrahierten Sätzen und Wort-Kookkurrenz-Informationen zu erzeugen ([GEQ12]). Die verwendeten Softwarelösungen sind eine Sammlung von Java-Programmen sowie diversen Python-, Perl- und Shell-Skripten. Die Ausführung erfolgt bereits automatisiert, wobei die einzelnen Schritte von einem Python-Skript gesteuert werden, welches außerdem eine zentrale Konfiguration enthält.
Die verwendete Lösung hat über die Zeit stark an Komplexität gewonnen, woraus sich in der Praxis verschiedene Nachteile ergeben. Insbesondere haben nicht mehr alle Beteiligten eine klare Vorstellung von Art und Reihenfolge der Verarbeitungsschritte. Dadurch, dass

die einzelnen Schritte in verschiedenen Programmiersprachen implementiert sind und keine grafische Repräsentation existiert, dauern sowohl Einarbeitung als auch Fehlersuche unnötig lange. Konkrete Ausführungen und ihre Konfiguration werden nur schwach dokumentiert, was die Fehlersuche zusätzlich erschwert. Bei Erweiterungen des Prozesses entstehen zudem leichter Ineffizienzen, da bei der Implementierung von Ergänzungen immer nur ein kleiner Ausschnitt des Prozesses betrachtet wird und mögliche Auswirkungen auf andere Arbeitsschritte nicht beachtet werden. Die zu verarbeitenden Daten sind oftmals sehr groß, sodass bei länger andauernden Ausführungen, die bis zu mehreren Monaten benötigen können, häufig Aussagen zum aktuellen Bearbeitungsstand gewünscht sind. Dies ist aufgrund des unzureichendem Monitorings nur über die Betrachtung der Ausgabedateien einzelner Teilschritte bzw. eine entsprechende Abschätzung möglich und deshalb sehr ungenau. Nach jeder Ausführung und Erstellung eines Korpus' besteht der Bedarf einer Abschätzung der Qualität des Ergebnisses, welcher derzeit vorwiegend durch manuelle Tests auf der erstellten Datenbank abgedeckt wird. Darüber hinaus wurden bereits testweise Teile des dargestellten Prozesses zur Nutzung größerer Rechenkapazitäten an ein externes Rechenzentrum ausgelagert, was zusätzliche Koordinationsmechanismen notwendig macht. Dabei wirkt sich an der bisherigen Lösung insbesondere als nachteilig aus, dass einzelne Teilschritte nur aufwändig aus dem komplexen Skript zur Steuerung des Ablaufes herausgelöst werden können und damit ihre Wiederverwendung erschwert wird.
Ziel ist es daher, den Prozess mit einem Workflow-Management-System ausführen und überwachen zu können. Dabei sollen zusätzliche Messungen durchgeführt werden, die Hinweise auf mögliche Flaschenhälse oder Qualitätsprobleme bezüglich der Verarbeitung liefern. Dabei können zur Steigerung der Ergebnisqualität auch manuelle Prüfungen durch Mitarbeiter modelliert werden.

4.2 Modellierung mit BPMN

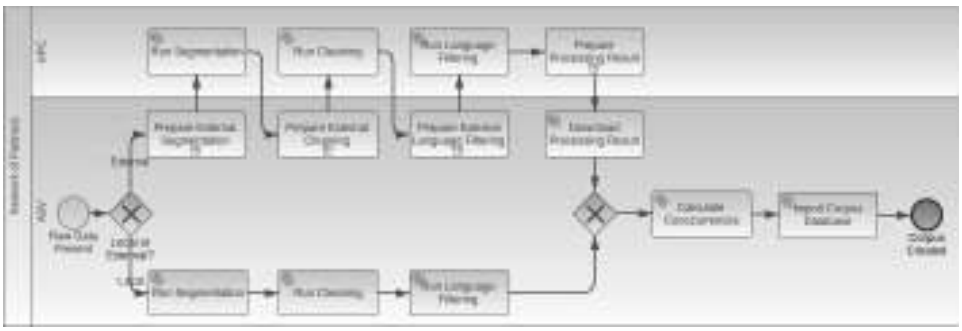


Abb. 1: Prozessmodell Korpuserzeugung (BPMN)

Die BPMN (Business Process Model and Notation) ist ein Standard der OMG (vgl. [OM11]). Ein großer Vorteil von BPMN ist neben ihrer weiten Verbreitung, dass damit modellierte Prozesse ausführbar gemacht und somit vollständig durch ein WfMS gesteuert



Abb. 2: Details des Subprozesses zur Vorbereitung der externen Satz-Segmentierung

und überwacht werden können. Mittlerweile existieren zahlreiche Ausführungsumgebungen, die den BPMN-Standard unterstützen, etwa jBPM, Activiti oder Camunda.

Abb. 1 zeigt den geplanten Soll-Zustand des oben beschriebenen Prozesses. Die Swimlane-Modellierung verdeutlicht die Kooperation zwischen dem CLARIN-Zentrum Leipzig und einem High-Performance-Computing-Rechenzentrum (HPC-RZ), wobei jede Lane einen Prozessbeteiligten repräsentiert. Obwohl es sich beim HPC-RZ um einen externen Prozessbeteiligten handelt, wird auf eine Modellierung in getrennten Pools verzichtet, da die Möglichkeit des unmittelbaren Zugriffs auf die Rechenkapazitäten besteht. Zudem würde eine Modellierung in separaten Pools lediglich die Kommunikation über einen Nachrichtenfluss erlauben, was durch die direkte Einbindung des Rechenzentrums in den Verarbeitungsfluss aber nicht der Realität entspräche (vgl. [GL13, S.131]). Kooperationen zwischen Organisationseinheiten sind mittels Scientific Workflows nur schwer abbildbar. Im dargestellten Prozessmodell findet die Verarbeitung entweder nur lokal oder teilweise im HPC-RZ statt, wofür Daten zum Rechenzentrum transferiert werden müssen. Die ersten drei Verarbeitungsschritte des externen Pfades, die Vorverarbeitung, enthalten jeweils einen als Subprozess modellierten Vorbereitungsschritt, dessen Details nur für die Ausführung bzw. IT-Personal von Interesse ist (vgl. Abb. 2). Bei einer ins HPC-RZ ausgelagerten Vorverarbeitung, muss das Endresultat nochmals bearbeitet werden, bevor es im CLARIN-Zentrum weiterverarbeitet wird. Die Details hierzu sind ebenfalls in einem Subprozess verborgen, da sie für ein grobes Verständnis des Ablaufes nicht benötigt werden. Ab diesem Zeitpunkt ist die Verarbeitung für beide Zweige wieder identisch. Es folgen Arbeitsschritte zur Berechnung von Kookkurrenzen[6] und der abschließende Import des Korpus in eine Datenbank. Die Flexibilität der gewählten Modellierungsform zeigt sich insbesondere anhand der einfachen Erweiterbarkeit des dargestellten Prozesses.

Abb. 3 stellt den oben beschriebenen Prozess, erweitert um einige zusätzliche Elemente, dar. Die Aufgabe für die lokale Segmentierung wurde hier mit einem Fehler-Event versehen. Tritt bei der Verarbeitung ein Fehler auf, wird ein Techniker informiert, der versucht, den Fehler zu beheben. Ist dies erfolgreich, wird die Bearbeitung erneut gestartet und andernfalls mit einem Fehler beendet.

Zusätzlich wurde nach der Kookkurrenzberechnung und der Erstellung der Wortliste eine

[6] Hierbei entstehen auch die Wortlisten. Die Modellierung in nur einem Task ist dennoch sinnvoll, da die Aufgaben hier vom gleichen Tool in einem Aufruf desselben bearbeitet werden.

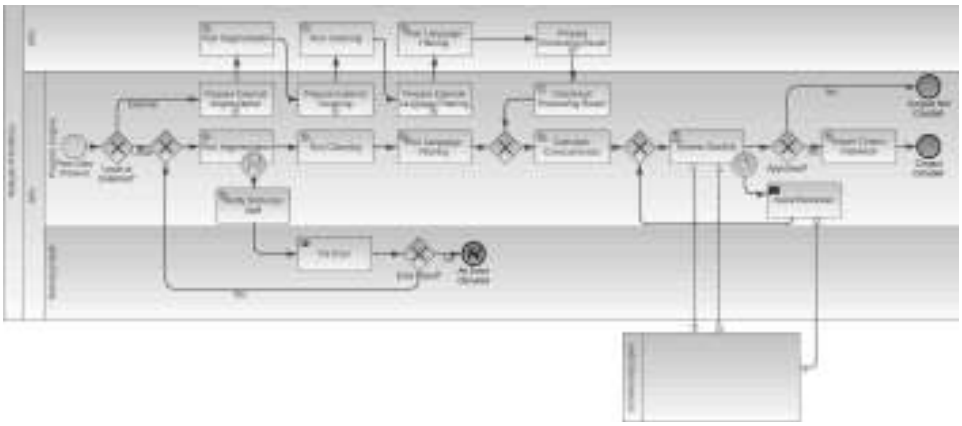


Abb. 3: Prozessmodell Korpuserzeugung, erweiterte Version (BPMN)

Benutzeraufgabe[7] eingefügt, deren Inhalt etwa die Prüfung der ersten 1000 Wortlisten-Einträge durch einen Community-Experten sein kann. Stellt der (externe) Experte, dessen Prozess hier als Blackbox modelliert wurde, Fehler fest, wird die Datenbank nicht importiert und der Vorgang beendet. Zusätzlich wurde der Review-Aufgabe ein Timer-Event hinzugefügt, welcher nach Ablauf einer definierten Zeitspanne dem Experten eine Erinnerung zur Bearbeitung der Aufgabe senden soll. Eine direkte und umfassende Integration von Fachbereich und IT ist somit gewährleistet. Hinsichtlich der konkreten Implementierung automatisch von IT-Systemen ausgeführter Teilschritte ergeben sich zudem die Vorteile, dass einerseits diese Teilschritte in anderen Prozessen wiederverwendet werden können und andererseits bei Bedarf die Implementierung einfach ausgetauscht werden kann, ohne den Gesamtzusammenhang dabei zu stören.

Die hier dargestellten Adaptionen stellen nur eine kleine Teilmenge möglicher Erweiterungen dar und können natürlich auch für deutlich größere und komplexere Arbeitsprozesse oder involvierte Nutzerrollen durchgeführt werden. Grundsätzlich erfüllt die BPMN alle Voraussetzungen, um auch wissenschaftliche Arbeitsabläufe adäquat abbilden zu können und stellt in Verbindung mit einem umfassenden Geschäftsprozessmanagement ein mächtiges Werkzeug dar. Die in einigen Communities möglicherweise als überflüssig wahrgenommenen ökonomischen Aspekte können gerade in großen Forschungsinfrastrukturen helfen, Leistungen kundenorientiert und effizient zu erstellen und dabei eine Brücke zwischen Fach- und IT-Bereich zu schlagen.

[7] Eine gute Übersicht der Aufgabentypen bietet [GL13].

5 Fazit

In komplexen Forschungsinfrastrukturen bestehen zahlreiche Herausforderungen, darunter vor allem der Bedarf, Arbeitsabläufe zu dokumentieren sowie nachvollziehbar und wiederverwendbar zu machen. Im akademischen Bereich haben sich Scientific Workflows herausgebildet, deren Prinzip dem des Geschäftsprozessmanagements entlehnt ist, aber ökonomische Aspekte außer Acht lässt. Im Rahmen großer Forschungsinfrastrukturen sind letztere jedoch unverzichtbar; Wirtschaftlichkeit kann hier zu einem wichtigen Erfolgsfaktor werden. Die vorliegende Arbeit zeigt, dass Konzepte des GPM sinnvoll auch auf den akademischen Bereich übertragen werden können. Letztlich handelt es sich bei GPM aber nicht nur um ein Werkzeug zur Strukturierung von Prozessen, sondern um einen Managementansatz, der zu einer kundenorientierten und effizienten Leistungserstellung führen soll.

Für weiterführende Arbeiten ist es daher sinnvoll, die Bedeutung von GPM als Management-Konzept für Forschungsinfrastrukturen zu analysieren. Damit einher geht die Entwicklung konkreter Kennzahlensysteme, wobei sich diese Kennzahlen immer an der Erreichung spezifischer Ziele orientieren sollten[8], welche einer Strategie entstammen, um dem Aufwand der Messung einen Nutzen gegenüber stellen zu können. Da die Ziele von Forschungsinfrastrukturen sehr unterschiedlich sein können, sollten sich künftige Arbeiten damit befassen, in welchem Umfang Kennzahlen auch in unterschiedlichen Szenarien wiederverwendet werden können. Diese ließen sich damit auch im Sinne eines Benchmarkings für Forschungsinfrastrukturen einsetzen. Einen guten Überblick über wichtige Vorarbeiten dazu finden sich in [Gn17]. Darüber hinaus kann die BPMN auch weiter an das konkrete Umfeld angepasst werden. Um einzelne Schritte für Fachdomänen im Geistes- und sozialwissenschaftlichen Kontext nachvollziehbarer zu machen, wäre es unter anderem denkbar, diese mit Termen aus TaDiRAH, einer Taxonomie von Forschungsaktivitäten aus den Geisteswissenschaften, zu verknüpfen (vgl. [Ta17]).

Literaturverzeichnis

[BKR12] Becker, J.; Kugeler, M.; Rosemann, M., Hrsg. Prozessmanagement - Ein Leitfaden zur prozessorientierten Organisationsgestaltung. Springer Gabler, 2012.

[BMS16] Busch, A.; Meister, J.; Schumacher, M.: Wo bleibt eigentlich der einzelne Fachwissenschaftler? Bibliothek Forschung und Praxis, 40:278–282, 2016. Abgerufen am 6.4.2017, doi:10.1515/bfp-2016-0028.

[Ch15] Christ, J. P.: Intelligentes Prozessmanagement - Marktanteile ausbauen, Qualität steigern, Kosten reduzieren. Springer Gabler, 2015.

[8] Etwa „Angebot aufbereiteter Textkorpora in 20 Sprachen“ oder „Verfügbarkeit konkreter Textannotationen in mindestens 80% aller Korpora“ als Beispiel für quantitative Kennzahlen. Für qualitative Metriken könnten z.B. die relativen Häufigkeiten der einzelnen Annotationen gemessen und mit einer typischerweise zu erwartenden Verteilung als Soll-Wert verglichen werden.

[Fl09] Fließ, S.: Dienstleistungsmanagement - Kundenintegration gestalten und steuern. Gabler, 2009.

[Ga12] Gadatsch, A.: Grundkurs Geschäftsprozess-Management - Methoden und Werkzeuge für die IT-Praxis: Eine Einführung für Studenten und Praktiker. Springer Vieweg, 2012.

[Ga15] Gadatsch, A.: Geschäftsprozesse analysieren und optimieren - Praxistools zur Analyse, Optimierung und Controlling von Arbeitsabläufen. Springer Vieweg, 2015.

[GEQ12] Goldhahn, Dirk; Eckart, Thomas; Quasthoff, Uwe: Building large monolingual dictionaries at the leipzig corpora collection: From 100 to 200 languages. In: In Proceedings of the Eight International Conference on Language Resources and Evaluation (LREC'12). 2012.

[GH16] Gradl, Tobias; Henrich, Andreas: Die DARIAH-DE-Föderationsarchitektur - Datenintegration im Spannungsfeld forschungsspezifischer und domänenübergreifender Anforderungen. Bibliothek. Forschung und Praxis, 40(2):222–228, 2016.

[GL13] Göpfert, J.; Lindenbach, H., Hrsg. Geschäftsprozessmodellierung mit BPMN 2.0 - Business Process Model and Notation. Oldenbourg Verlag München, 2013.

[Gn17] Gnadt, T.; J., Stiller; Schmitt, V.E.; Thoden, K.: Faktoren und Kriterien für den Impact von DH-Tools und Infrastrukturen, Technical Report. DARIAH-DE Working Papers, (21), 2017. Göttingen.

[HK14] Hinrichs, Erhard; Krauwer, Steven: The CLARIN Research Infrastructure: Resources and Tools for e-Humanities Scholars. Proceedings of the Ninth International Conference on Language Resources and Evaluation (LREC-2014), S. 1525–1531, Mai 2014.

[my17a] myExperiment - Workflows - Pathways and Gene annotations for QTL region. https://www.myexperiment.org/workflows/16.html, 2017. Abgerufen am 3.4.2017.

[my17b] myExperiment - Workflows - Success-Abandonment-Classification. https://www.myexperiment.org/workflows/140.html, 2017. Abgerufen am 3.4.2017.

[OM11] OMG: BPMN 2.0 Spezifikation. Website, 2011. http://www.omg.org/spec/BPMN/2.0/PDF/, Abgerufen am 9.4.2017.

[Ta17] TaDiRAH - Taxonomy of Digital Research Activities in the Humanities. http://tadirah.dariah.eu, 2017. Abgerufen am 5.4.2017.

[Wo09] Wolstencroft, K.; Fisher, P.; De Roure, D.; Goble, C: Scientific Workflows. OpenStax CNX, 2009.

[Zu12] Zundert, Joris van: If you build it, will we come? Large scale digital infrastructures as a dead end for Digital Humanities. Historical Social Research, 37(3):165–186, 2012.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 1113

Workflows zur datenbasierten Videospielforschung Am Beispiel der populären Videospielserie Metal Gear Solid

Tracy Hoffmann[1] Konstantin Freybe[2] Peter Mühleder[3]

Abstract: Das Ziel des Forschungsprojektes *diggr* (Databased Infrastructure on Global Game Culture Research) ist, Spielekulturen im lokalen wie globalen Kontext zu verstehen und mittels Forschungsdaten Spuren sichtbar, analysierbar und nachvollziehbar zu machen. In diesem Beitrag beschreiben wir anhand unserer Auseinandersetzung mit der japanischen Videospielserie *Metal Gear Solid* Herausforderungen im Umgang mit Daten die über Videospiele existieren und präsentieren Ansätze für Workflows zur agilen datenbasierten Forschung in einem interdisziplinärem Team.

Keywords: Videospiele; Forschungsdaten; Modellierung; Kulturwissenschaften; Prozessmodell

1 Einleitung

Videospiele haben sich seit den 1970er Jahren nicht nur zu einem festen Bestandteil der Populärkultur, sondern auch zu einem wichtigen Wirtschaftszweig in vielen Ländern entwickelt[4]. Auch seitens der Wissenschaft ist wachsendes Interesse an Videospielkultur als Forschungsobjekt zu verzeichnen. Aus unterschiedlichsten Forschungsrichtungen werden Zugänge zu diesem Feld versucht. (Vgl. [Je15] [Pi13] [Iw15] [Co09] [De15])

Der Begriff Videospielkultur[Ad15] verweist dabei auf die Komplexität des Forschungsgegenstandes: Videospiele sind mehr als materielle Artefakte oder statische (Medien-)Texte. Sie sind eingebunden in globale Produktions-, Distributions- und Rezeptionsprozesse. Fans von Videospielen beschränken sich darüber hinaus nicht nur auf den Konsum von Videospielen, sie schreiben selbst Kritiken und Kommentare, produzieren Videos für das Internet, stellen Metadaten in Wikis zusammen uvm. Daraus ergibt sich eine unüberschaubare Menge an heterogenen digitalen Spuren, die wichtige Quellen für die Erforschung von Videospielkultur darstellen und Forschende vor gänzlich neue Herausforderungen in Hinblick auf Datenbeschaffung, -analyse und -evaluation stellen.

[1] Universität Leipzig, Universitätsbibliothek, Beethovenstraße 6, 04107 Leipzig, Deutschland tracy.hoffmann@uni-leipzig.de
[2] Universität Leipzig, Universitätsbibliothek, Beethovenstraße 6, 04107 Leipzig, Deutschland konstantin.freybe@uni-leipzig.de
[3] Universität Leipzig, Universitätsbibliothek, Beethovenstraße 6, 04107 Leipzig, Deutschland peter.muehleder@uni-leipzig.de
[4] Einem Bericht des Wall Street Journal zufolge erzielte die Videospielebranche im letzten Jahr einen Umsatz von 75 Milliarden Dollar, mehr als das Doppelte der weltweit verkauften Kinotickets.[La17]

doi:10.18420/in2017_113

Mit diesen Herausforderungen bei der datenbasierten Erforschung von Videospielkulturen setzt sich seit Beginn 2017 ein interdisziplinäres Team der Universität Leipzig auseinander. Der vorliegende Artikel dient der Reflektion – im Sinne einer analytischen Selbstreflektion aus Forschungssicht – über die aus dem ersten konkreten Forschungsfall gewonnenen praktischen, methodologischen und theoretischen Erkenntnisse. Dazu gliedert sich der Beitrag in folgende Teile: die Vorstellung des Projekts, die Beschreibung des ersten Use Case anhand dessen Erfahrungen in der Zusammenarbeit im Team gewonnen werden konnten sowie die Auseinandersetzung mit Modellierungsfragen, die sich währenddessen stellten.

Die darin beschriebenen Erfahrungen und Methoden liefern dabei konkreten Einblick in die Forschungspraktiken und den Umgang mit den oben beschriebenen Herausforderungen. Sie können somit dazu beitragen, in Zukunft Best-Practice-Lösungen für diese Art interdisziplinärer Forschung zu entwickeln. Das langfristige Ziel in diesem Prozess ist, die erarbeiteten Workflows in Zukunft auf weitere Forschungsgebiete der Digital Humanities zu übertragen.

2 Das diggr-Projekt – Workflow, Use Cases und Datenquellen

Hinter dem Namen *diggr* (Databased Infrastructure on Global Game Culture Research) verbirgt sich ein von der Deutschen Forschungsgemeinschaft gefördertes gemeinschaftliches Forschungsprojekt der Universitätsbibliothek und der Japanologie der Universität Leipzig. Im Zeitraum von 2017 bis Ende 2019 unternehmen sechs Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen beider Institutionen aus den Bereichen Informatik, Kulturwissenschaft und Bibliothekswesen gemeinsam den Versuch, die vorhandenen Expertisen der Bibliothek in den Bereichen Datenmanagement direkt in den kulturwissenschaftlichen bzw. japanologischen Forschungsprozess zu integrieren, um so die eingangs beschriebenen Herausforderungen besser bewältigen zu können. So zielt das Projekt auf die komplexen Verbreitungsprozesse japanischer Videospiele und die damit einhergehenden Bedeutungszuschreibungen durch verschiedene Akteure im Kontext globaler Videospielkultur. Durch die Verknüpfung vielfältiger Datenquellen über eine Datenverarbeitungsplattform sollen Spuren dieser Prozesse auf neue Weise interaktiv für Forschende sichtbar, analysierbar und nachvollziehbar gemacht werden.

Zu Projektbeginn stellte sich die Situation als Herausforderung dar, denn sowohl die Datenlage als auch die benötigten Technologien waren unklar, was wiederum das Formulieren von Zielstellungen erschwerte. Darüber hinaus kommt der Universitätsbibliothek eine noch recht ungewohnte Rolle zu, denn sie tritt als Bereitstellerin von Forschungsinfrastruktur und -daten in Erscheinung. Wie diese Aufgabe jedoch genau aussehen könnte und wie sie praktisch umzusetzen ist, war zu Beginn des Projektes noch ungeklärt, da man sich weder auf Best-Practice-Lösungen oder vorhandene Erfahrung stützen konnte. Die Entwicklung von Workflows zur gemeinsamen Forschungsarbeit war daher ein erster wichtiger Schritt in diesem Projekt. Um diese auch gleich in der Forschungspraxis erproben zu können, wurde die Entscheidung getroffen, über den Forschungszeitraum hinweg nicht eine umfangreiche Fragestellung zu bearbeiten, sondern eine Reihe kleinerer Fragestellungen. Mit deren Hilfe

sollen explorativ Best-Practice-Lösungen entwickelt werden, welche die Kollaboration zwischen informationstechnisch und inhaltlich ausgerichteten Forschenden befördern sollen.

Der in Abb. 1 skizzierte Gesamtworkflow greift auf lineare sowie zirkuläre Ansätze zurück und beinhaltet die Erstellung mehrerer Anwendungsfälle während des gesamten Projektzeitraums, die im Folgenden *Tiny Use Cases* (TUC) genannt werden. Diese können sowohl autark behandelt, als auch basierend auf vorangegangenen Use Cases angelegt werden.

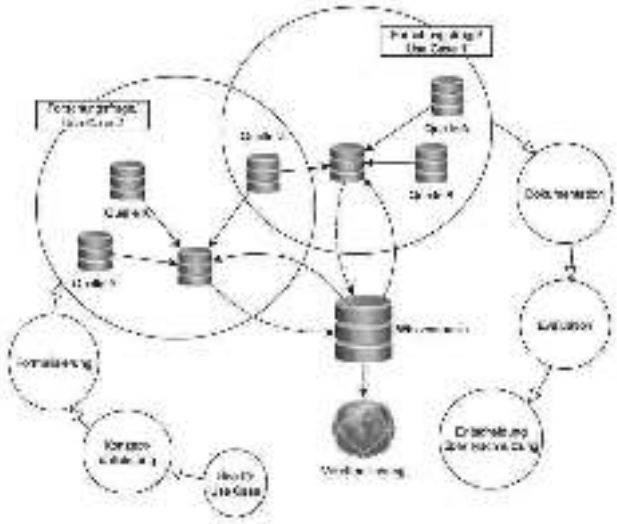


Abb. 1: Gesamtworkflow

Den Ausgangspunkt eines TUC bildet dabei eine konkrete wissenschaftliche Fragestellung, für die – basierend auf vorangegangener Forschung – Hypothesen formuliert werden. Die darauf folgenden Schritte hingegen sind flexibel und sequentiell gestaltet, um die Hypothesen derart zu operationalisieren, dass sie anhand der komplexen, heterogenen Gemengelage an auffindbaren digitalen Daten überprüft werden kann.

Grundsätzlich sind für das diggr Projekt drei Typen von Datenquellen relevant, die jedoch nicht scharf gegeneinander abgegrenzt werden können:

- **Wissensinstitutionen** (kommerzielle wie nicht-kommerzielle Spieledatenbanken, Fan-Websites),
- **Diskussionsprotokolle** (Foren, Chatverläufe; Kommentare zu Videos, Pressetexten, Posts in sozialen Netzwerken) und
- **Mediennutzungsangebote** professioneller sowie semi-professioneller Produzierender, deren Ausgestaltung kontingent ist (Live-Streams und deren Aufzeichnungen,

Audio, Video oder Text: Rezensionen,*Walkthroughs* und *Strategy-Guides* auf Blogs, journalistisch orientierte Websites)

Das besondere an diesen Datenquellen ist, dass es sich dabei oft um von Gaming Communities[5] erzeugte Infrastrukturen handelt. Die Auswahl der Daten erfolgt sowohl anhand inhaltlicher (Fragestellung des TUCs) als auch forschungspragmatischer (Nutzbarkeit der API, Vollständigkeit/Richtigkeit, verwendetes Datenmodell, etc.) Kriterien.

Sobald ein Anwendungsfall abgeschlossen ist, findet eine Evaluation der Bearbeitungsschritte statt. Falls notwendig, werden die Schritte für den nächsten Anwendungsfall modifiziert. Die in diesen Verfahren erarbeiteten Best-Practice-Angebote und Workflows werden stets auch daraufhin überprüft, wie gut sie für die weitere Nutzung in anderen TUCs taugen. Die genaue Beobachtung der gemeinsamen Vorgehensweisen soll einerseits zeigen, wie sich Forschende und Dateninfrastruktur zueinander verhalten und andererseits so verstetigt werden, dass die erstellten Werkzeuge auch über die Projektlaufzeit hinaus zuverlässig genutzt werden können.

Die Generierung und Beantwortung von Forschungsfragen in TUCs bietet daher den Forschenden Anlass, sich konkret mit den verfügbaren Quellen zu befassen und erste Teilergebnisse zutage zu fördern. Die damit einhergehende Erschließung und Aufbereitung von Datenquellen umfasst auch die Evaluierung existierender Quellen und die Ermittlung der Erfordernisse einer forschungsgerechten Datenpräsentation. Darüber hinaus werden stets zentrale, grundlegende Fragen in Bezug auf die Verwendung bzw. Nachnutzung von Daten mitreflektiert. Als Beispiel: Wenn überhaupt, welche Aussagen können auf Grundlage der konsultierten Quellen in Hinblick auf die Forschungsfrage getroffen werden? Werden die Daten verworfen oder eher archiviert, um die Forschungsergebnisse überprüfbar zu machen? Wie können die verwendeten und ggf. selbst erzeugten Daten und Metadaten Eingang in eine zentrale Wissensbasis finden?

3 Diggr TUC1: Kanonisierungsstrategien in *Metal Gear Solid*

Die oben umrissenen Abläufe werden nun anhand eines konkreten Forschungsfalles veranschaulicht. Dabei richtet sich der Fokus auf drei Prozesse: Generierung der Fragestellung und Hypothesen, Datenbeschaffung, Auswertung bzw. Datenmodellierung.

3.1 Ausgangslage - Fragestellung und Hypothesen

Forschungsobjekt des TUC1 war die Videospieleserie *Metal Gear Solid* (MGS)[6], für die seit 1998 fünf Teile und zahlreiche Spin-offs erschienen. Als Markenzeichen der Serie

[5] Exemplarisch für die Zugänge über *Communities* vgl. [Pe09]

[6] Die Veröffentlichung des Spiels *Metal Gear Solid* in 1998 markiert das Wiederaufgreifen der Serie *Metal Gear*, die mit dem Erscheinen des gleichnamigen Spiels in 1987 begann. In MGS werden Ansätze weiterverfolgt, die

gelten komplexe, spieleübergreifende Plots, die trotz ihres fiktiven Charakters starke Bezüge zu politischen Ereignissen aufweisen, und Gameplay, das auf Tarnung und die Vermeidung offener Konfrontationen hinausläuft – wenngleich den Nutzern auch andere Wege offen stehen.

Die Forschungsfrage des TUC1 entstand durch konkrete Gameplay-Situation innerhalb des Spieles *Metal Gear Solid 5: Ground Zeros*[7] (2014)(MGSV:GZ). Dies verdient deshalb hervorgehoben zu werden, weil hier besonders deutlich wird, dass Videospiele weniger als statische Texte und eher als durch aktive Nutzung in Gang gesetzte Erlebnisse in Frage kommen. Derartige Erfahrungen sind nicht direkt zugänglich, und müssen daher für die Forschung aufbereitet werden (z.B. in der Form von „dichten Beschreibungen“, siehe z.B. [Ge11]). In TUC1 wurde eine videospielkulturelle Praktik zur Veranschaulichung (und bestenfalls auch Dokumentation) der Spieleerfahrung verwendet: Es wurde ein sogenanntes *Let's Play* [8], ein Videomitschnitt (inklusive Audiokommentar) eines Spieldurchgangs angefertigt.

Den Ausgangangspunkt von TUC1 bildet die „Déjà-vu Mission“in MGSV:GZ, die als Bonus-Mission abseits der Haupthandlung anzusiedeln ist. Die „Déjà-vu Mission“zeichnet sich dadurch aus, dass sie unterschiedliche und zahlreiche Verweise auf andere Videospiel-Titel enthält, die mehr oder weniger den Serien *Metal Gear Solid* oder *Metal Gear* zugeordnet werden können. Oft handelt es sich dabei um *Easter Eggs*, also Objekte, die im Spiel versteckt sind und darauf warten, von Nutzern gefunden zu werden.

Eine Teilmenge dieser Referenzen zu anderen Spielen bilden Titeleien von *Metal Gear*-Spielen, die auf dem Spielfeld angebracht sind. Interaktion mit einem solchen Schriftzug kann auf zwei Weisen geschehen: Einerseits können Funksprüche ausgelöst werden, wenn man das *Fernglas* auf eine Titelei richtet und die entsprechende Taste drückt. Dadurch erhält man zu manchen Schriftzügen nähere Informationen, zu anderen nicht. Werden Titeleien hingegen mit einer speziellen *violett leuchtenden Lampe* beschienen, verschwinden manche, während das Licht auf andere keine Wirkung hat. Es gibt insgesamt sieben Schriftzüge, auf diese Weise aus dem Spielfeld entfernt werden können. Sind sie alle mit Hilfe des violetten Lichts aus dem Spielfeld entfernt worden, löst dies einen Funkspruch aus, in welchem der Spielende unterstellt wird, Fan von *Hideo Kojima Games* zu sein und auch von Herrn Kojima selbst, dem *Schöpfer* der *Metal Gear*-Saga, erklingt ein Dankeschön für die vermeintliche Unterstützung. Zwar haben alle Titel gemeinsam, dass sie der Marke *Metal Gear* bzw. *Metal Gear Solid* zugeordnet sind. Die Beobachtungen im Gameplay legen jedoch eine Binnendifferenzierung nahe (wegen der unterschiedlichen Interaktionsmöglichkeiten). Daraus ergab sich folgende Forschungsfrage: *Welches Unterscheidungskriterium kam*

in der *Metal Gear*-Reihe verwendet wurden. Die Veröffentlichungen seit MGS weisen verstärkt den Einsatz cineastischer Stilmittel auf und rangieren unter den Spielen mit den höchsten Produktionsbudgets.

[7] Metal Gear Solid V: Ground Zeroes. PS4 v4.50. CUSA00211 [DD]. Konami Digital Entertainment Co., Ltd.: Konami Digital Entertainment BV, 20 March 2014. PSN v1.04

[8] *Let's Play* bezeichnet ein Genre audiovisueller Inhalte, in denen Nutzer Aufnahmen von ihrer Videospielnutzung anfertigen und anderen Nutzern zu unterschiedlichen Zwecken verfügbar machen. `https://www.youtube.com/watch?v=Z1frZ-zWptM`

weshalb auf die Titeleien zur Anwendung? Die Forschungsfrage greift Beobachtungen aus dem Gameplay auf und spitzt das Problem auf die Kategorien *Titel* und *Personen* zu. Das Ziel von TUC1 besteht darin, diese abstrakten Kategorien auf das Gameplay rückzubeziehen und die Beziehungen zwischen mehreren Titeln sowie zwischen Personen und Titeln besser zu verstehen.

3.2 Erarbeitung eines kollaborativen Workflows zur Datenauswertung

Um Anhaltspunkte für die Beschaffung von Daten zu liefern, müssen Fragestellung und Hypothesen so aufbereitet werden, dass die menschenlesbare Frage in eine maschinenlesbare Anfrage übersetzt werden kann. Die gemeinsame Diskussion verlief diesbezüglich in mehreren Etappen. Es gilt die konkrete Fragestellung so zu abstrahieren, dass sie entlang der jeweiligen Kriterien auf Datenquellen gerichtet werden kann. Die in der Erschließung des TUC unternommene Eingrenzung des Gegenstandsbereichs auf Titeleien und die daran geknüpften Interaktionsmöglichkeiten hat sich als hilfreich erwiesen. Auf diese Weise treten *Titel* und *Personen* als zentrale Kategorien hervor.

Die konkrete Aufbereitung der Daten erfolgte dabei in einem zirkulären Prozess: Die erste Iteration umfasst eine *einfache* Aufbereitung. Diese wurde in Form von flach strukturierten Textdateien den Domänenexperten präsentiert, so dass eine erste Einschätzung der Ergebnisse erfolgen konnte. Die Rückmeldung über den Informationsgehalt dieser Daten boten die Ausgangslage für eine nächste Iteration, bei der die Anfragen an die Quellen[9] angepasst wurden bzw. auch auf andere Quellen zurückgegriffen werden mussten.

Um beispielsweise die Beziehungen zwischen Personen und Spielen bestimmen zu können, wurden die Datenquellen auf solche Informationen hin befragt, die in den Abspännen (Credits) der Spiele enthalten sind. Diese Daten stellen nicht nur in Aussicht, die an der Produktion beteiligten Personen ausfindig machen zu können, sondern sie ermöglichen bestenfalls auch die Bestimmung der im Einzelnen ausgeübten Funktionen. Zwei Quellen stellen derartige Informationen bereit, wenngleich nicht nachvollziehbar war, ob und welche redaktionellen Maßnahmen ergriffen wurden, um die Richtigkeit der bereitgestellten Informationen zu gewährleisten. Insgesamt wurden in TUC1 21 Abspänne und weitere Metadaten der *Metal Gear* Reihe analysiert.

Unter der Annahme, dass in den Daten zutreffend die Credits erfasst sind, lässt sich feststellen, dass den dort geleisteten Zuschreibungen in Richtung Hideo Kojima verstärkte Aufmerksamkeit zukam. Auch beim Blick auf die Funktionsbezeichungen lässt sich festhalten, dass Kojima in der Produktion nicht-kanonischer Spiele eher supervisorische Aufgaben zukamen, während sich der rekonstruierbare Verantwortungsbereich in kanonischen Spielen

[9] Folgende Quellen kamen zum Einsatz: MobyGames (`http://www.mobygames.com/`), Giant Bomb (`https://www.giantbomb.com/`), Wikia (`http://www.wikia.com/`) und die Internet Game Database (IGDB) (`https://www.igdb.com/`).

oft über mehrere Produktionseinheiten erstreckt und dabei nicht auf Supervision beschränkt bleibt.

Eine weitere Maßnahme bestand darin, die Datenquellen daraufhin zu befragen, auf welche Weise Titel dort in Beziehung zueinander gesetzt werden. Ein Datenmodell einer Quelle überrascht in diesem Kontext, da *canon* resp. *non-canon* als Kategorien angelegt sind. Das Ordnen der Titel (genauer: der zugeordneten Daten), das häufig auf der Chronologie von Veröffentlichungsdaten beruht, wird um eine Möglichkeit temporaler Ordnung erweitert, wobei handlungsimmanente Ereignisse in eine zeitliche Reihenfolge gebracht werden. Im Bezug auf einen Erzählkanon von MGSV:GZ lässt sich feststellen, dass der in einer Datenquelle veranschlagte Erzählkanon von dem abweicht, was aus dem Gameplay von MGSV:GZ erschlossen werden konnte. Es existieren also mindestens zwei verschiedene institutionalisierte Auffassungen des Kanon der Serie *Metal Gear Solid*. Diese Inkongruenz stärkt den Verdacht, dass bei den im Gameplay gemachten Beobachtungen eine Kanonisierungsstrategie zum Ausdruck kommt. Die Kopplung der kanonisierten Titel an einen zentralen Akteur in MGSV:GZ legt nahe, von einem *Autorenkanon*[Fr87] zu sprechen. Das Vorhandensein unterschiedlicher Auffassungen dessen, was als kanonisch gilt, erregt den Verdacht, dass es sich hierbei um ein potentiell kontrovers diskutiertes Konzept handelt.

Im Laufe dieses Prozesses ergaben sich somit einige interessante Indizien, die für die Beantwortung der Forschungsfrage, bzw. der Überprüfung der Hypothesen nützlich sind. Besonders interessant für die Datenmodellierung ist die Beziehung zwischen Person und Spiel, welche anschließend im Detail besprochen wird.

3.3 Vom TUC zur Wissensbasis – Überlegungen zur Datenmodellierung

Die Beantwortung der Fragestellung und der damit einhergehenden Hypothesen ist nur ein Ziel des in TUC1 entwickelten Arbeitsprozesses. Wie anfangs erwähnt, ist es ein übergeordnetes Projektziel, semantische Zusammenhänge innerhalb der Daten und zwischen den Datenquellen für die Forschung darzustellen. Dafür muss das Wissen aus den heterogenen Modellen der Datenquellen einzelner TUCs in eine homogene Repräsentation überführt werden. Dies soll mit einer auf Linked-Data-Technologie basierenden, gemeinsamen Wissensbasis und einem RDF-basierten Datenmodell realisiert werden. Um dieses Ziel zu erreichen, orientiert sich das Design der Datenebene an gängigen Linked-Data-Prinzipien und Schemata und beinhaltet eine Datenstruktur basierend auf RDF und einem Domänen-Vokabular, welches die verwendeten Terme zur Beschreibung der Entitäten im Datenmodell beinhaltet. Dies geschieht mit RDFS und OWL.

Zu Beginn des Projekts gab es die Überlegung, für die Modellierung der erhobenen Daten bestehende Modelle nachzunutzen und bei Bedarf zu erweitern. Insbesondere an Stellen, an denen spielespezifische Konzepte und Terme notwendig sind, sollte auf spezialisierte Vokabulare zurückgegriffen werden. Hierbei stellte sich jedoch früh heraus, dass bislang kaum, insbesondere bereits in RDF veröffentlichte, Vokabulare existieren. Die wenigen

existierenden legen ihren Fokus auf unterschiedliche Aspekte wie die Entwicklung, das Gameplay oder auf die technischen Beschaffenheiten von Videospielen [JS14] [PRG16] [JMC07] [CY08]. Weitere Modelle befassen sich mit der bibliografischen Beschreibung von Videospielen und den Umgang von kulturellen Institutionen mit diesen Ressourcen. Diese Modelle sind darauf ausgelegt, das Informationsbedürfnis – die Suche nach bestimmten Videospielen – durch Nutzer dieser Institutionen zu bedienen [Ji14].

Es stellte sich also heraus, dass es kein existierendes Modell gibt, das die oben genannten Datenquellen (insbesondere die Daten der Fan Communities) zur Videospielkultur – und nicht bloß den Spielen selbst – darstellen kann. Somit kamen wir zu der Entscheidung, ein eigenes Modell mit Anknüpfungspunkten zu externen Modellen zu erstellen und dieses iterativ zu erweitern.

Bei der Modellierung kommt eine agile Methode zur Anwendung, bei der mit kleinen Modulen bzw. Modellen begonnen wird. Diese enthalten wenige Anforderungen und entsprechen den jeweiligen TUCs. Im Fall des TUC1 waren es Personen, die in einer bestimmten Relation zu einem bestimmten Spiel stehen, und die Frage: *Wer hat was gemacht?*. Die konkreten Entwicklungsschritte und insbesondere, wie Modellierungsentscheidungen getroffen werden, sollen anhand der Spiel-Personen-Rollen-Relation im folgenden Abschnitt skizziert werden.

Ein Videospiel wird in der Regel für unterschiedliche Plattformen (PlayStation, XBox, Wii, etc.) produziert und an verschiedenen Zeitpunkten, in bestimmten Ländern veröffentlicht (local release). Bei der Produktion handelt es sich um ein zeitlich abgeschlossenes Ereignis, daher wurde bei der Modellierung ein event-basierter Ansatz, wie er auch bei CIDOC CRM[10] (siehe E12 Production) vorkommt gewählt. An einem Produktionsevent können je nach Plattform unterschiedliche Personen beteiligt sein. Die Personen können mehrere Rollen einnehmen bzw. Funktionen ausüben. Diese Beziehung muss erhalten bleiben, um die Fragen zu beantworten: Welche Rollen hat eine bestimmte Person? Wer tritt in einer bestimmten Funktion über verschiedene Videospielproduktionen mehrfach auf? Welche Personen und ihre Funktionen treten gemeinsam über verschiedene Spiele hinweg auf? Zu diesem Zweck wurde eine n-ary Relation in Form der Klasse *Role relation* modelliert und mit der Person und ihrer Rolle in Beziehung gesetzt.

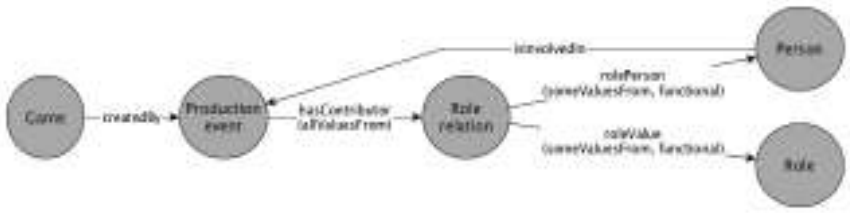


Abb. 2: Produktionsevent und Rollenrelation

[10] http://erlangen-crm.org/

```
:Metal_Gear_Solid_3_Snake_Eater
      a :Game ;
      createdBy :ProductionEvent_MGS3SE_PlayStation2 .

:ProductionEvent_MGS3SE_PlayStation2
      a   :ProductionEvent ;
      hasContributor :RoleRelation_Hideo_Kojima_Concept ;
      hasContributor :RoleRelation_PersonX_RoleY .

:RoleRelation_Hideo_Kojima_Director
      a   :RoleRelation ;
      roleValue :Concept ;
      rolePerson :Hideo_Kojima .

:Hideo_Kojima
      a   :Person ;
      isInvolvedIn  :ProductionEvent_MGS3SE_PlayStation2 ;
      isInvolvedIn  :ProductionEvent_GameA_PlatformB .

:Concept
      a   :Role .
```

Die Entscheidung für die Modellierung wurde auch durch die vorhandenen Daten beeinflusst: Allein bei der Auswertung der Abspänne ergaben sich ca. 1.900 unterschiedliche Rollenangaben, darunter Character Modeling, Programmer, Gun Research, Producer, Storyboard (ausgenommen: Danksagungen, Liedreferenzen o.ä.). Für die Beantwortung des TUC1 wurde daher eine Variante mit Rollen als Individuen verwendet. Zusammenfassend lässt sich konstatieren, dass die Modellentscheidung durch die Rahmenbedingungen des Forschungsobjekts (Veröffentlichungspraxis) geprägt wurde und selbst das Resultat einer konkreten Forschungsentwicklung war.

Dieses agile Vorgehen bringt jedoch auch eine gewisse Unsicherheit mit sich, mit der offen umgegangen werden muss. Der jeweils aktuelle Stand der Modellierung stellt immer eine vorläufige Version des Verständnisses und der Sichtweise auf Videospiele dar, die sich stufenweise weiter entwickelt. So werden die Erkenntnisse aus jedem TUC in das Vokabular einfließen, um sich iterativ einer Domänenontologie für Videospiele zu nähern.

Das Modell sieht vor, einen einzelnen, einheitlichen Namespace für die Beschreibung, Agenten, Konzepte, Events und Definitionen zu verwenden. Dieses Kern-Vokabular (Prefix diggr) soll Entsprechungen zu bekannten Modellen beinhalten, die für unsere spezifischen Anforderungen angepasst werden. Folgende externe Vokabulare finden derzeit Anwendung oder werden in Betracht gezogen:

- Dublin Core[11] für allgemeine Aussagen (bspw. dct:title, relation, publisher, source).
- FRBR[12] zur Darstellung von Beziehungen zwischen dem Spiel (Werk), einer Edition und einem Local release dieses Spiels.
- RDA[13] für die Nutzung verschiedener Eigenschaften für Elemente wie Orte, Agenten, Werke.
- FOAF[14] für Aussagen zu Personen.
- Erlangen CRM zur Nutzung event-basierter Klassen (bspw. E12 Production).

In Fällen, in denen keine Entsprechung in den oben aufgeführten Vokabularen gefunden werden kann, werden Terme im eigenen diggr-Vokabular definiert.

Da es um die Aufbereitung von nutzergenerierten Daten für die geisteswissenschaftliche Forschung handelt, müssen neben den oben ausgeführten methodischen Fragen der Datenmodellierung auch grundlegende theoretische Fragen mitreflektiert werden. Es handelt sich bei den von Fans zusammengetragenen Informationen in Webportalen nicht um raw data, sondern um vorstrukturierte Daten, hervorgegangen aus einem sozialen Prozess der Wissensgenerierung innerhalb der Community und geformt durch die technischen Rahmenbedingungen der jeweiligen Websiten. Bei der Arbeit mit diesen Daten unterliegt man daher dem Problem der „doppelten Hermeneutik“[Gi91]: Menschen in modernen Gesellschaften interpretieren ständig ihre Realität und erzeugen vorstrukturiertes Wissen, wobei sie auch Konzepte und Kategorien aus Sozial- und Kulturwissenschaften verwenden. Als Beispiel hierfür kann die Gruppierung von Spielen zum übergeordneten *Werk* „Metal Gear Solid“dienen. Die Spiele werden sowohl unter *Group*, *Franchise*, *Collection* als auch *Series* zusammengefasst. Eine Quelle macht darüber hinaus eine Aussage zur Zugehörigkeit einzelner Spiele zum Kanon *Metal Gear*.

Die Auseinandersetzung mit der Fragestellung des TUC1 ermöglichte uns die Identifizierung und Auseinandersetzung mit konkreten methodischen, technischen und theoretischen Herausforderungen bei der Datenmodellierung. Das Herunterbrechen der Aufgabenstellung auf einzelne Fragen ermöglicht uns innerhalb eines kurzen Zeitraums ein Modell zur Verfügung zu stellen, das für den TUC anwendbar ist, aber auch einen wichtigen Beitrag zur Erstellung einer Domänenontologie für Videospiele darstellt.

4 Fazit: Forschungsdatenbeschaffung als kommunikativer Prozess

Die Bearbeitung von TUC1 führte letztendlich dazu, dass wir ein Prozessmodell entwickeln konnten, welches die starke Verzahnung von Datenerhebung und -auswertung widerspiegelt

[11] http://dublincore.org/
[12] https://www.ifla.org/publications/functional-requirements-for-bibliographic-records
[13] http://www.rdaregistry.info/
[14] http://xmlns.com/foaf/spec/

und so den unter Punkt 2 formulierten Anforderungen des Projektes Rechnung trägt (siehe Abb. 3).

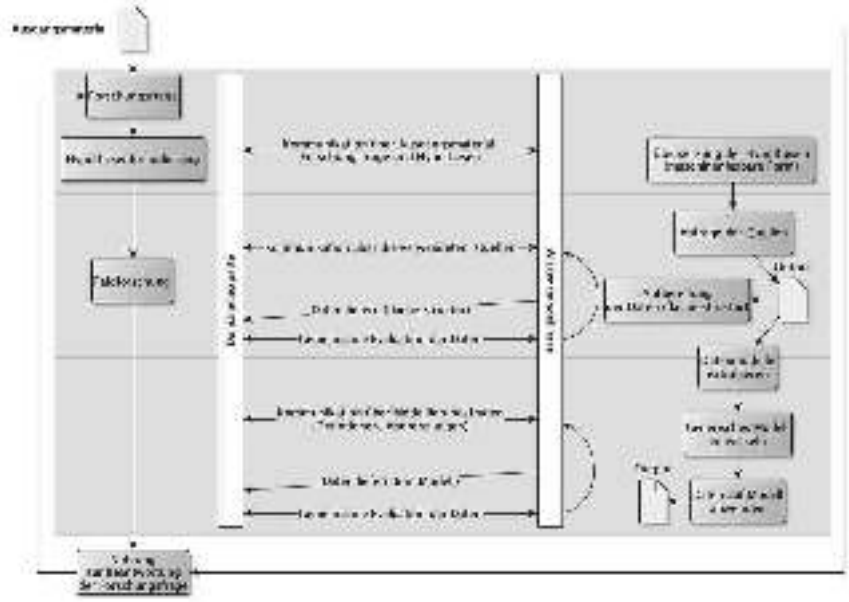


Abb. 3: TUC Prozess

Derart konzipiert, ist der Workflow innerhalb der einzelnen TUCs ein auf Kommunikation ausgerichteter Prozess. Dies ist insofern von großer Bedeutung, als es in einem größeren, interdisziplinär besetzten Team oft zu unterschiedlichen Ansichten aufgrund von unterschiedlichen Wissensständen, Perspektiven und individuellen Fähigkeiten kommen kann. Um daher bei allen Mitgliedern des Teams ein gemeinsames Verständnis für den jeweils aktuellen TUC zu erreichen, werden verschiedene Mittel, beispielsweise aus der agilen Softwareentwicklung eingesetzt oder mit in der Videospielkultur gebräuchlichen Praktiken wie z.B. *Let's Play* gearbeitet.

Damit während eines TUC ein Modell entstehen kann, nehmen Informationsaustausch und Aneignung von Wissen durch Domänen-Experten und den Modell-Entwicklern zentrale Positionen im Prozess der Konzeptualisierung und Formalisierung ein. Kommunikationsschleifen sind in dem Workflow explizit vorgesehen, damit gemeinsame Definitionen von Entitäten und Relationen erarbeitet werden können.

Ob sich die vorgestellten Ansätze bewähren und weiter generalisieren lassen wird sich im Laufe des Projektes zeigen. Es lässt sich bereits jetzt konstatieren, dass eine gemeinsame (interdisziplinäre) Reflektion über Methoden, Theorien und Technologien zentraler Bestandteil des Forschungsprozesses wird. Geisteswissenschaftliche Forschung und bibliothekarische

Aufgaben (Datenmodellierung, Bereitstellung, Forschungsdokumentation), gehen somit Hand in Hand und ermöglichen damit Synergieeffekte für alle Beteiligten.

Literaturverzeichnis

[Ad15] Adamowsky, Natascha: Game Studies und Kulturwissenschaft. In: Game Studies : aktuelle Ansätze der Computerspielforschung, S. 342–372. von Halem, Köln, 2015.

[Co09] Consalvo, Mia: Convergence and Globalization in the Japanese Videogame Industry. Cinema Journal, 48(3):135–141, 2009.

[CY08] Chan, Jupiter T. C.; Yuen, Wilson Y. F.: Digital game ontology: Semantic web approach on enhancing game studies. In: Conceptual Design (CAID/CD). S. 425–429, 2008.

[De15] DeWinter, Jennifer: Shigeru Miyamoto: Super Mario Bros., Donkey Kong, the Legend of Zelda. Influential Video Game Desingners. 2015.

[Fr87] Freedman, Jonathan: Autocanonization. Tropes of Self-Legitmation in 'Popular Culture'. The Yale Journal of Criticism, 1(1):203–217, 1987.

[Ge11] Geertz, Clifford: Dichte Beschreibung: Beiträge zum Verstehen kultureller Systeme. Suhrkamp-Taschenbuch Wissenschaft; 696. Suhrkamp, Frankfurt a. M., 2011.

[Gi91] Giddens, Anthony: The consequences of modernity. Polity Press, Cambridge, U.K., 1st paperback ed.. Auflage, 1991.

[Iw15] Iwatani, Toru: Video games around the world. MIT Press, Cambridge Mass. u.a., 2015.

[Je15] Jennifer DeWinter: Japan. In (Wolf, Mark J. P., Hrsg.): Video games around the world, S. 319–444. MIT Press, Cambridge Mass. u.a., 2015.

[Ji14] Jin Ha Lee; Rachel Ivy Clarke; Simone Sacchi; Jacob Jett: Relationships among Video Games: Existing Standards and New Definitions. 77th ASIS&T Annual Meeting, Seattle, 2014.

[JMC07] José P. Zagal; Michael Mateas; Clara Fernández-Vara: Towards an Ontological Language for Game Analysis. In: Worlds in play: international perspectives on digital games research, S. 21–36. Peter Lang Publishing, New York, 2007.

[JS14] Jacob Jett; Simone Sacchi, Jin Ha Lee, Rachel Ivy Clarke: A Conceptual Model for Video Games and Interactive Media. In (Bouwmans, Thierry; Porikli, Fatih, Hrsg.): Background Modeling and Foreground Detection for Video Surveillance. Chapman and Hall/CRC, 2014.

[La17] Lauren Weber: In the $75 Billion Videogame Industry, Hiring People Is a Last Resort. The Wall Street Journal, 10.04.2017.

[Pe09] Pearce, Celia: Communities of play: Emergent cultures in multiplayer games and virtual worlds. MIT Press, Cambridge, Mass, 2009.

[Pi13] Picard, Martin: The Foundation of Geemu: A Brief History of Early Japanese Video Games. Game Studies, (13 (2)), 2013.

[PRG16] Parkkila, Janne; Radulovic, Filip; Garijo, Daniel: An ontology for videogame interoperability. Multimedia Tools and Applications, 2016.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 1125

Explicating knowledge on data models through domain specific languages

Tobias Gradl[1], Andreas Henrich[2]

Abstract: Digital artifacts and metadata of the arts and humanities exhibit a wide spectrum of formats, structures and contexts, and hence a high level of heterogeneity. With particular respect of the characteristics of the application domain, we propose a concept on the basis of formal languages, which allows the separation of technical and contextual aspects of data modeling. Based on a developed framework, domain experts explicate knowledge about data in terms of domain specific languages and derived transformation functions. Independent of actual technical aspects of data transformation and integration (e.g. formats, access protocols, schema languages), experts of particular disciplines, collections or research questions can describe and define data models and relations in an extensive, declarative fashion—utilizing custom data models or standards as applicable. As implicit knowledge is continuously explicated within the data models, interpretations external to the generative context of data are facilitated—thereby promoting interoperability.

Keywords: Digital humanities; descriptive data modeling; language applications; DARIAH

1 Introduction

Similar to the traditional forms of museums, archives or libraries, digital collections of the arts and humanities provide access to diverse contexts and forms of research objects and metadata. On the basis of tolerant licenses and sufficient technical infrastructures, digital resources can be provided to a greater, distributed public.

Despite current trends towards the development of standards and best practices for digitizing, describing and annotating research data of the arts and humanities, recent studies show a hesitant or practically non-existent adaption of standards other than that of simple Dublin Core (DC) [Po05, Vi13]. With an increasing impact of research infrastructures such as Europeana, DARIAH and CLARIN, existing standards might be favored over the definition of custom data models in the future. However, a continuing use and publication of data that conforms to custom or legacy data models should be expected as:

- funding and knowledge required to recreate data and metadata might not be available

[1] University of Bamberg, Media Informatics Group, An der Weberei, 96047 Bamberg, Germany tobias.gradl@uni-bamberg.de
[2] University of Bamberg, Media Informatics Group, An der Weberei, 96047 Bamberg, Germany andreas.henrich@uni-bamberg.de

doi:10.18420/in2017_114

- information loss might be feared when transforming existing data and
- standards that exactly match the demands might not exist.

In this paper we present an approach for modeling and relating data, which enables experts within the digital humanities to declaratively describe data—irrespective of the degree of structuredness and standardization. The novelty of the concept mainly consists in the language theoretical foundation [GH16a] of this modeling task, which results in data description facilities that are (1) expressive enough to incorporate the complex models required for scholarly research and (2) reduce technical overhead—allowing domain experts to focus on the semantic aspects of data modeling.

This paper is structured as follows: In section 2 we will introduce two examples that illustrate the types of data our approach is focusing on. Section 3 will present a formal foundation of data models into which *labeling functions* are incorporated. After detailing the composition of such functions and providing an overview of the behavior of the implemented framework, we conclude the paper with section 4 and a brief reflection of a research-oriented application that has been implemented on the basis of our framework.

2 Context

Traditional data modeling and integration backgrounds (see e.g. [Le02], [SL90], [BLN86]) often involve an extensive data analysis, which results in the specification of a global view—combining all information on local models that is considered relevant to a defined application context. The primary problem with such traditional approaches in domains of the Digital Humanities consists in the context-specificity of individual subdomains. Despite working on the same collection, art historians might come to different, possibly conflicting perspectives than archaeologists or epigraphs. Since research data of the Digital Humanities include uncountable nuances of structured, semi-structured and unstructured variants, the consolidation of one particular global model thus seems unfeasible—especially when attempting to satisfy the desirable objectives of completeness, correctness, minimality and understandability of integrative schemata [BLN86].

The primary goal behind our approach is to provide such capabilities that allow the description of data within its context by domain experts of the arts and humanities. By explicating contextual knowledge, they are enabled to extend and enrich original data. Due to the diversity of the domain, its research questions and data, we developed a concept that abstracts semantic aspects of data modeling from technical problems [GH14]—allowing experts within a specific discipline or collection to focus on those aspects of data, which require their domain expertise. Technical problems of data access, decoding, processing or integration are solved in a generic, reusable fashion.

For the sake of understandability, two rather generic examples have been selected for this paper. Although no specific disciplinary knowledge is required, they show the typical stretch

```
<oai_dc:dc>
  <dc:creator>Grobe, Hannes</dc:creator>
  <dc:date>1996-02-29</dc:date>
  <dc:format>text/tab-separated-values, 1148 data points</dc:format>
  <dc:language>en</dc:language>
  <dc:coverage>LATITUDE: 68.556667 * LONGITUDE: -21.210000 * DATE/TIME START:
      1994-09-19T14:56:00 * DATE/TIME END: 1994-09-19T14:56:00 * MINIMUM DEPTH,
      sediment/rock: 0.0 m * MAXIMUM DEPTH, sediment/rock: 11.5 m</dc:coverage>
  <dc:subject>ARK-X/2; AWI_Paleo; Denmark Strait; Gravity corer (Kiel type); Ice
      rafted debris; IRD-Counting (Grobe, 1987); Paleoenvironmental Reconstructions
      from Marine Sediments @ AWI; Polarstern; PS2646-5; PS31; PS31/162</dc:subject>
</oai_dc:dc>
```

List. 1: Pangaea DC example

of data with respect to syntactical and structural complexity. Assuming e.g. codes instead of natural labels for keys under `dc:coverage` in the first example or a metalanguage other than Wikitext[3] in the second example: knowledge-dependent variants are not difficult to imagine.

Structured data As an example of data that is commonly provided by digital collections we consider simple DC metadata (see listing 1) as provided by the PANGAEA (Data Publisher for Earth & Environmental Science)[4] database. With respect to *atomicity*, the structural decomposition of each element is almost intuitive: the `creator` element consists of multiple name components, the `format` encapsulates some substructure, `coverage` contains key/value-organized data elements and `subject` actually contains a list of individual subjects. For each of these fields, simple lexical and syntactical rules can be defined, which generate the language of its data. For instance, in the `coverage` element, the colon and asterisk symbols are critical for tokenizing the otherwise unstructured text—differentiating the list of key/value pairs as well as the keys and values themselves.

Unstructured data Listing 2 shows the first few lines of the German Wikipedia article on Gustave le Bon. The document is composed of a mixture of structured and unstructured elements as the document itself conforms to the Extensible Markup Language (XML) and the MediaWiki export schema and the content of the *text* element conforms to Wikitext. As such, the unstructured text of the article is complemented with structural rules that define elements such as headings and links. Like the `coverage` element in listing 1, Wikitext follows grammatical constraints that can be utilized to define and describe conforming data.

[3] `https://en.wikipedia.org/wiki/Help:Wiki_markup`
[4] `https://pangaea.de/`

```
<page xmlns="http://www.medi...export-0.9/">
  <title>Gustave Le Bon</title>
  <ns>0</ns>
  <id>104619</id>
  <revision>
    <id>135522322</id>
    <parentid>135491542</parentid>
    <timestamp>2014-11-04T17:40:26Z</timestamp>
    <contributor>
      <ip>146.52.78.48</ip>
    </contributor>
    <comment>/* Der Rassebegriff bei Le Bon */</comment>
    <text xml:space="preserve">[[Datei:Gustave Le Bon.jpg|thumb|Gustave Le Bon im [[
        fin de siècle]]]] '''Gustave Le Bon''' (* [[7. Mai]] [[1841]] in [[Nogent-le
        -Rotrou]]; + [[15. Dezember]] [[1931]] in [[Paris]]) gilt als Begründer der
        [[Massenpsychologie]]. Seine Wirkung auf die Nachwelt, wissenschaftlich auf
        [[Sigmund Freud]] und [[Max Weber]], politisch insbesondere auf den [[
        Nationalsozialismus]] und seine ...
```

List. 2: Wikipedia example

3 Data modeling

Before diving further into the examples introduced in the previous section and the definition of grammatical constraints, this section is intended to provide a more formal, language-oriented perspective on data. Please note that although two XML-based examples have been chosen above, data in the digital humanities is not strictly structured in terms of the XML. Among further formats, plain text, Comma Separated Values (CSV) or JavaScript Object Notation (JSON) files are commonly utilized in the digital humanities—not in publicly accessible digital collections, but the locally stored research data of scholars and research projects.

3.1 Perspectives on data

Based on the foundation in [Zh08] and [Mu05], semi-structured data models can be interpreted in terms of finite structures $\langle N, T, R, P \rangle$—regular-tree grammars with the finite sets of nonterminals (N) and terminals (T), the root symbol ($R \in N$) and the set of production rules (P). This definition allows the production of a semi-structured document according to its e.g. XML or JSON schema formulated constraints. As such, we consider the interpretation of a schema as $\langle N, T, R, P \rangle$ the *parsing-oriented perspective* on semi-structured data. The definition allows the specification of production rules of the form $n \rightarrow te_c$, where $n \in N$, $t \in T$ and $e_c \subset N$ reflects the content model that is defined over the set of non-terminals.

With regard to the introduced examples, this definition allows the production of terminal symbols of the XML documents from nonterminals and hence the formal definition of

an XML schema. Although a strictly parsing-oriented perspective is necessary for the syntactically correct interpretation of data, the presented definition does not allow the extension of document structure based on the content of the elements.

To allow the representation of substructures or alternative elements within the formal definition of a schema, we extend the parsing-oriented view to a 6-tuple $S = \langle N, T, R, P, L, F \rangle$, where N, T, R and P form components of the original definition. The components of L and F provide the extension of the schema, where:

- L forms a set of labels and
- F is a set of labeling functions $x \rightarrow le_l$, where:
  - $x \in N \cup L$,
  - $l \subseteq L$ and
  - $e_l := \{I, op\}$ defining a function over a set of input values $I \subseteq N$ and an operation of the arity $|I|$.

Figure 1 shows the editor component of the modeling interface of our framework[5]. In this editor, the blue nodes represent the nonterminals. The yellow nodes are labeling functions, which are formed of a grammatical and a transformation component. The purple nodes finally represent produced labels. Through the hierarchy, parenting nodes of labeling functions also define the set of input values.

3.2 Labeling functions

Within our framework, labeling functions are composed of the two constructs *grammars* and *functions*, which represent two distinguishable modeling tasks. Grammars are used to define the grammatical constraints that generate a language—i.e. the Domain Specific Language (DSL) that an element conforms to. Functions build on resulting syntax trees to transform data into subsequent labels.

The example in figure 1 shows an intermediary result of modeling the presented Wikipedia example: the *grammar* `g: SplitContent` for the separation of encapsulated structured information from unstructured text is inserted below the `Text` element. The *transformation function* `f: SplitContent` applies commands to produce key/value pairs of structured data and the remaining article (`Fulltext`). An additional grammar `g: WikipediaSections` then decomposes Wikitext from encapsulated textual content. The transformation function `f: WikipediaSections` is then applied on the produced parse tree and generates the element hierarchy modeled under `Section`.

[5] `http://schereg.de.dariah.eu`

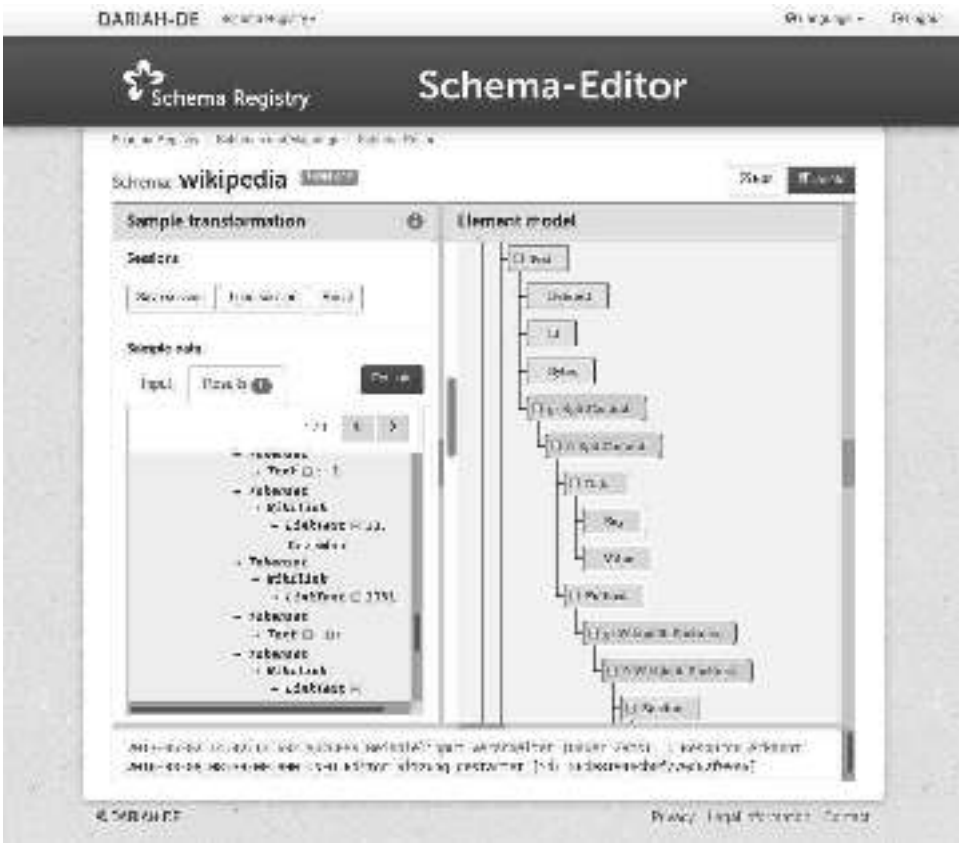


Fig. 1: Part of data model and transformation of the wikipedia example

Description grammars

The specification of data with respect to syntactical and semantic constraints is accomplished by means of an individual, element-specific DSL [PF11]. Listing 3 shows an excerpt of the *parser grammar* for `g: WikipediaSections`. The complete *parser grammar* has 74 lines (including comments etc.) and defines rules (e.g. `page`, `h1block`, `text`) for the syntactic analysis of a provided input. It is complemented by a *lexer grammar* of 109 lines, which specifies the rules (e.g. `TEXT`, `EQ`, `H1_OPEN`) for a preliminary lexical analysis—i.e. the tokenization of input. Please consider the lexer rule `h1`: it defines that the `title` of a level 1 heading is embraced by the lexer rule `H1_OPEN` (defined as `'\n='`) and `EQ` (`'='`)—the latter being also used in parser rules other than `h1` such as `text` in the presented excerpt.

```
page      : container+;
container : (block | preface) block*;
preface   : content;
block     : h1block | ... | h6block;

h1block   : h1  (h2block | ... | h6block | content)*;
...
h6block   : h6  (content)*;

h1        : H1_OPEN title EQ;
...
h6        : H6_OPEN title H6_CLOSE;

content   : (tokenset | categoryContainer)+;
title     : tokenset+;
tokenset  : text
          | link;
...
text      : TEXT | EXCL | EQ;

intLink     : intLinkOpen intLinkCont INT_LINK_CLOSE;
intLinkCont : intLinkComp? linkValue;
intLinkComp : intLinkRes INT_LINK_SEP
              (linkContent INT_LINK_SEP)*;
intLinkRes  : linkContent;
...
```

List. 3: Element grammar g: WikipediaSections

Applying the grammars at the modeled element conveniently results in the generation of Java code and classes that represent a lexer, a parser, tree traversal helpers and auxiliary classes per defined rule. Upon requiring the grammar during the runtime of our developed system, these classes are dynamically loaded and hence—without any intervention by a programmer—the declarative definition of data in terms of DSLs results in the execution of native Java code that processes the defined data. As an end-result of the descriptive phase, a parse-tree is generated and reflects input data with respect to the specified grammar. Figure 2 shows the resulting parse tree of the first tokens of the textual content in listing 2. In subsequent steps of the sample Wikipedia data model, file links have been modelled as

irrelevant for the task at hand, which is why the rule `skip` terminates the parse tree at that particular subtree.

Transformation functions

Comparable to its native context in compiler engineering, a parse tree reflects only an intermediate representation for the derivation of an enriched document and does not conclude our data enrichment process. Transformation functions form a subsequent step and are applied to parse trees.

Listing 4 reflects the transformation function in `f: WikipediaSections`. Opposed to the grammar, this particular example function is not generic, but influenced by a specific application context in which only biographical sections are considered relevant. Whereas the first statement assigns any preface of an article to appropriate labels, the second statement contains a (simplified) filtering statement that is only satisfied, if the heading of a top-level (h2 in Wikipedia) heading contains the word 'life'.

Multiple transformation languages have been designed and standardized such as Query/View/-Transformation (QVT), which is defined by the Object Management Group (OMG) [OM15]. Due to the refinement of input data by means of a grammatical specification, the complexity of such languages has not shown to be required in our case yet. Instead, we chose to define a simple transformation language that allows the specification of value and object assignments and command execution.

However, as further indicated in figure 3, the transformation language is yet another DSL,

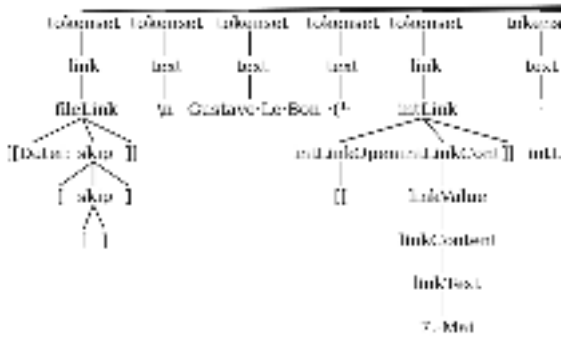


Fig. 2: Parse tree of the wikipedia sample

```
Section = @page.container.preface {
  Tokenset = @content.tokenset {
    Text = @[text, extLink.extLinkCont.linkValue];
    Wikilink = @intLink {
      LinkText = @linkValue;
      Link = @intLinkRes;
    };
  };
};
Section = @page.container.block.h2block[CORE::CONTAINS(@h2.title, "true", "life")] {
  Heading = @h2.title;
  Tokenset = @content.tokenset {
    Text = @text;
    Wikilink = @link {
      LinkText = @linkValue;
      Link = @intLinkRes;
    };
  };
};
AvailableHeading = @page.container.block.h2block.h2.title;
```

List. 4: Wikipedia function

which is technically processed comparable to the data languages. As such, other—possible additional—transformation languages could be integrated as deemed necessary.

3.3 Rule processing overview

Figure 3 shows the overall concept of the transformation rule framework, which forms a combination of the application of DSLs for the description of data and a transformation language for the formulation of transformation rules. The building blocks within the framework are summarized in two interpreters, one for the validation and processing of input against a DSL and one for the validation and processing of a transformation function against the transformation language. Both are conceptualized as autonomous language application components—each accomplishing the tasks of processing input, constructing intermediate representations and traversing and rewriting these according to the needs of the concluding back end (*semantic analysis* or *optimization*). These *needs* are the named nodes and subtrees of parsed input and are known as soon as the transformation function has been parsed and analyzed.

At runtime of the rule framework, transformation functions are assumed to be reused for multiple instances of a defined element model. As such, only the content of individual documents needs to be interpreted, whereas the executable representation of the transformation function is cached in its intermediary state.

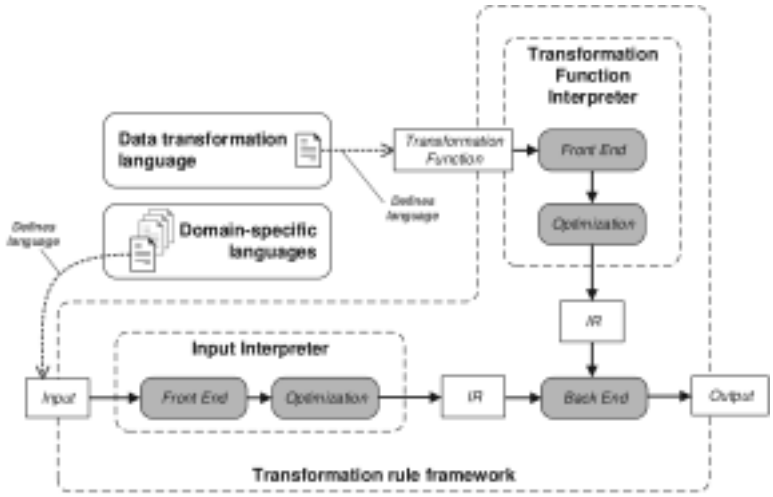


Fig. 3: Transformation rule framework

4 Conclusion

Although the example here touches all introduced topics, the results present only an intermediary step towards data that has been specifically modeled for a domain and research question. As subsequent steps, we have e.g. implemented functionality as usable commands for transformation functions to detect named entities by analyzing internal Wiki links or execute state-of-the-art methods of natural language processing (NLP)—to which the named entities that were identified by analyzing internal Wiki links can then be provided as known entities. With the help of the modeling framework we were able to compile an integrated data source for the prototypical implementation of a biographical analysis tool, which has been motivated by a feasibility study at the Leibniz Institute of European History in Mainz, Germany [GH16b]. Despite the functional extensions to support NLP or Wiki link analysis functionality, no code was required to be written in order to access, process and transform data. These aspects have been solved by modeling data (along with the application context) in a declarative fashion, which not only resulted in a quicker prototypical implementation of the tool, but improved transparency and iterative adaptability for the domain experts.

Although this paper has focused on the task of enriching data models intrinsically by explicating domain knowledge, executed tasks of data description and transformation can be applied when mapping data models to another, as shown exemplarily in figure 4. Mapping concepts between source and target elements[6] are visually represented by the yellow nodes and are comprised of a grammar per input element and one transformation function per mapping—reusing the same functionalities and principles as outlined above.

[6] 1:N, N:1 and N:M mappings are possible

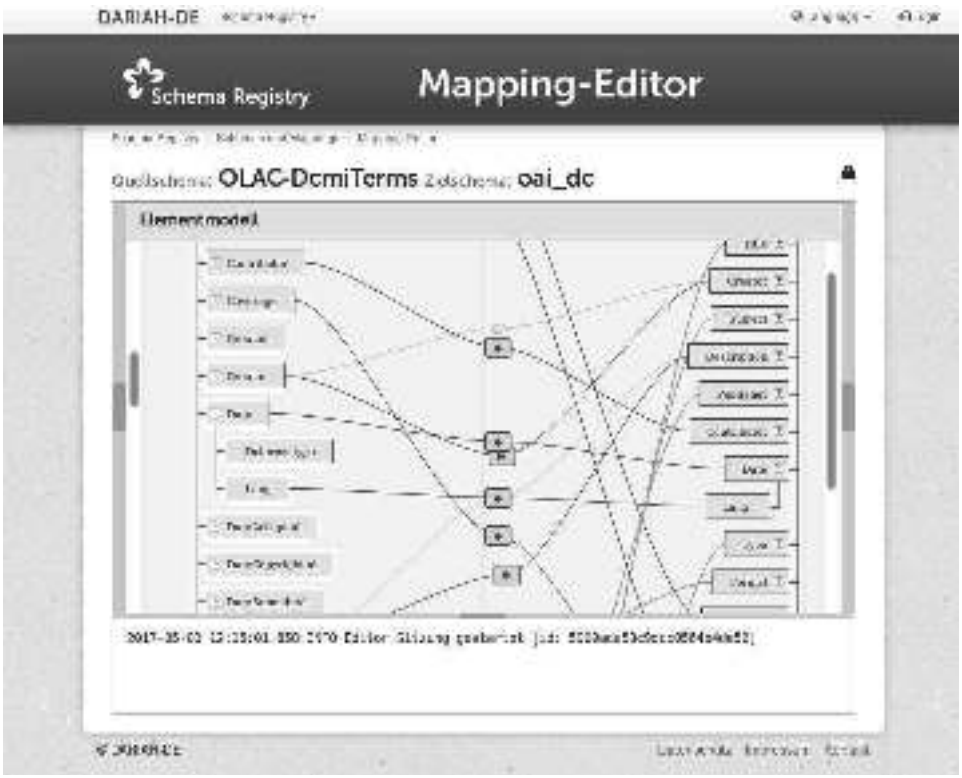


Fig. 4: Part of data model and transformation of the wikipedia example

References

[BLN86] Batini, C.; Lenzerini, M.; Navathe, S. B.: A comparative analysis of methodologies for database schema integration. ACM Computing Surveys, 18(4):323–364, 1986.

[GH14] Gradl, Tobias; Henrich, Andreas: A novel approach for a reusable federation of research data within the arts and humanities. In: Digital Humanities 2014 - Book of Abstracts. Lausanne, Switzerland, pp. 382–384, 2014.

[GH16a] Gradl, Tobias; Henrich, Andreas: Data Integration for the Arts and Humanities: A Language Theoretical Concept. In (Fuhr, Norbert; Kovács, László; Risse, Thomas; Nejdl, Wolfgang, eds): Research and Advanced Technology for Digital Libraries: 20th International Conference on Theory and Practice of Digital Libraries, TPDL 2016, Hannover, Germany, September 5–9, 2016, Proceedings, pp. 281–293. Springer International Publishing, Cham, 2016.

[GH16b] Gradl, Tobias; Henrich, Andreas: Nutzung und Kombination von Daten aus strukturierten und unstrukturierten Quellen zur Identifikation transnationaler Lebensläufe. In (Burr, Elisabeth, ed.): DHd 2016. nisaba Verlag, pp. 135–138, 2016.

[Le02] Lenzerini, Maurizio: Data Integration: A Theoretical Perspective. In (Abiteboul, S., ed.): Proceedings of the twenty-first ACM SIGMOD-SIGACT-SIGART symposium on Principles of database systems. ACM, New York, NY, p. 233, 2002.

[Mu05] Murata, Makoto; Lee, Dongwon; Mani, Murali; Kawaguchi, Kohsuke: Taxonomy of XML schema languages using formal language theory. ACM Transactions on Internet Technology, 5(4):660–704, 2005.

[OM15] OMG: , Meta Object Facility (MOF) 2.0 Query/View/Transformation Specification, 2015.

[PF11] Parr, Terence; Fisher, Kathleen: LL(*): The Foundation of the ANTLR Parser Generator. In: Proceedings of the 32Nd ACM SIGPLAN Conference on Programming Language Design and Implementation. PLDI '11, ACM, New York, NY, USA, pp. 425–436, 2011.

[Po05] Polfreman, Malcolm: , Commonly-used metadata formats in the Arts and Humanities, 2005.

[SL90] Sheth, Amit P.; Larson, James A.: Federated database systems for managing distributed, heterogeneous, and autonomous databases. ACM Computing Surveys, 22(3):183–236, 1990.

[Vi13] Vierkant, Paul: , Leuchttürme der deutschen Repositorienlandschaft, 2013.

[Zh08] Zhang, Zhi; Shi, Pengfei; Che, Haoyang; Gu, Jun: An Algebraic Framework for Schema Matching. Informatica, 19(3):421–446, 2008.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 1137

Der Einsatz von NoSQL/Graphdatenbanken und Crowd Sourcing am Beispiel des Mecklenburgischen Flurnamenarchivs

Martin Lichtwark[1], Holger Meyer[2] und Andreas Heuer[3]

Abstract: Sowohl in der Kulturlandschaftsforschung wie auch in der Volkskunde spielen Flurnamen von Orten oder Landschaftsteilen eine wesentliche Rolle. Aber auch die Regional-, Lokalgeschichte, Sprachwissenschaftler und Ortschronisten sind an ihnen interessiert. Neben der regionalen Einordnung ist dabei der Verortungsaspekt wesentlich. Dieser wird heute häufig mit Geoposition sowie einer Darstellung mittels Web Mapping Service verknüpft. Die Bereitstellung dieser digitalen Information ist Ziel des hier vorgestellten digitalen Flurnamenarchivs für Mecklenburg. Ausgehend von den zu Beginn des 20. Jahrhunderts von der Mecklenburgischen Flurnamenskommission erfassten ca. 20.000 Flurnamen wird die Digitalisierung mittels Crowd-basierter Verfahren und deren Nutzbarmachung für digitale Archivanwendungen beschrieben. Zur Speicherung der Flurnamen und deren Lokalisierung kommt ein Hypergraph-Datenbanksystem zum Einsatz, das neben einer flexiblen Darstellung und Auswertung eine Verknüpfung mit Archivbeständen des Rostocker Volkskundearchivs (Wossidlo-Archiv) erlaubt. Nach einer einleitenden Darstellung des Mecklenburgischen Flurnamenarchivs erfolgt eine Beschreibung des Graphdatenmodells und dessen Nutzung zur Speicherung der digitalisierten Flurnamen. Abschließend werden der Cloud-basierte Prozess der Übertragung des in Flurnamenlisten und auf Karten verzeichneten Bestandes und verwandte Arbeiten skizziert.

Keywords: Graphdatenbank, Digitales Archiv, Crowd Sourcing, Flurnamenarchiv

1 Das Mecklenburgische Flurnamenarchiv

Flurnamen gehören sprachwissenschaftlich zu den sogenannten Toponymen. Sie werden für topographische Gegenstände verwendet, wozu bspw. auch Landschafts- und Ortsnamen gehören und benennen und beschreiben als Mikrotoponyme kleinräumige Landschaftsteile, die allgemein landwirtschaftlich oder forstwirtschaftlich genutzt werden. Flurnamen sind somit „ein wichtiges Kulturgut [und spiegeln] ein Stück der volkskundlichen Überlieferung eines Territoriums wider“ [Gr16]. Dazu zählen auch Erkenntnisse über Besiedlungen, Mythologien, geologische und wirtschaftliche Bedingungen, genauso wie Informationen zur Sprachentwicklung, um nur einige zu nennen. Mit Blick auf die Region Mecklenburg gehen

[1] Universität Rostock, Institut für Informatik, Lehrstuhl Datenbank- und Informationssysteme, 18051 Rostock, martin.lichtwark@uni-rostock.de
[2] holger.meyer@uni-rostock.de
[3] andreas.heuer@uni-rostock.de

doi:10.18420/in2017_115

die ersten Quellen, in welchen sowohl kartographisch als auch in Registern die Flurnamen erfasst wurden, auf die Direktorial-Vermessung von 1768 bis 1780 zurück.

Angeregt auf Basis der deutschlandweiten Bewegungen entstand auch regional in Mecklenburg auf der zweiten Hauptversammlung des neu gegründeten Heimatbundes (1906-1918) ein Bestreben zur Sammlung von Flurnamen. Nach ersten Vorüberlegungen und Vorbereitungen durch die *Mecklenburgische Flurnamenkommission* startete 1908 im Namen des *Heimatbundes Mecklenburg* der Aufruf zur Sammlung mit detaillierten Informationen für die Bevölkerung. So wurde mit äußerstem Nachdruck und in detaillierter Ausführung die Notwendigkeit sowie die Vorgeschichte der Unternehmung zur Sicherung der Flurnamen beschrieben[Me08].

Nach mehreren Sammelaktionen, welche 1930 mit der zweiten Kommission endeten, wurde dem Bestand im Laufe der Jahrzehnte durch verschiedene Einflüsse ein erheblicher Schaden zugefügt, sodass heute lange nicht, die zur damaligen Zeit gesammelte Menge an Flurnamen, zur Verfügung steht. Im Rahmen der interdisziplinären Zusammenarbeit des Instituts für



Abb. 1: Fragebogen für die Flurnamenforschung — Beispielort: Boissow; Quelle: Wossidlo-Archiv

Volkskunde und des Lehrstuhls für Datenbank- und Informationssysteme der Universität Rostock wird seit Mitte letzten Jahres die Deskribierung des digitalen Mecklenburgischen Flurnamenarchivs forciert. Die Aufbereitung und Analyse des Archivs im Rahmen der Konzeption für die eigentliche Umsetzung ergab zwei zu lösende Kernprobleme auf die es sich zu fokussieren galt. Zum einen die Transkription der Flurnamen selbst und zum anderen die Verortung der eingezeichneten Nummerierungen der Fragebögen der Flurnamenforschung (Abb. 1) des analogen Archivs.

Aufgrund der Tatsache, dass es auch im Bereich des kulturellen Erbes viele Initiativen und Plattformen gibt, die bereits solche Aufgaben zu bewältigen hatten, wird derzeit eine

Umsetzung mittels Crowdsourcing durch einen Full-Service-Anbieter initiiert. Die Analyse in diesem Zusammenhang ergab, dass an die 95% des derzeitigen Gesamtbestandes per Crowdsourcing transkribierbar und verortbar sind [Li17].

Die Speicherung und Vernetzung der neu gewonnen Daten ist auf Grund der bereits ausgereiften Hypergraphentechnologie des WossiDiA nur eine Frage der ergänzenden Modellierung Systems.

2 Hydra Powergraph Datenmodell

Nachfolgend wird das Graphenmodell von *Hydra.PowerGraph* vorgestellt, das auf gerichteten, typisierten Hypergraphen basiert [MSH17], die Eigenschaften semi-strukturierter [Ab97] sowie graphbasierter Systeme vereinigt und welches im Rahmen des WossiDiA-Projektes [MSS14] entwickelt wurde. Gerichtete Hypergraphen kommen im Digitalen

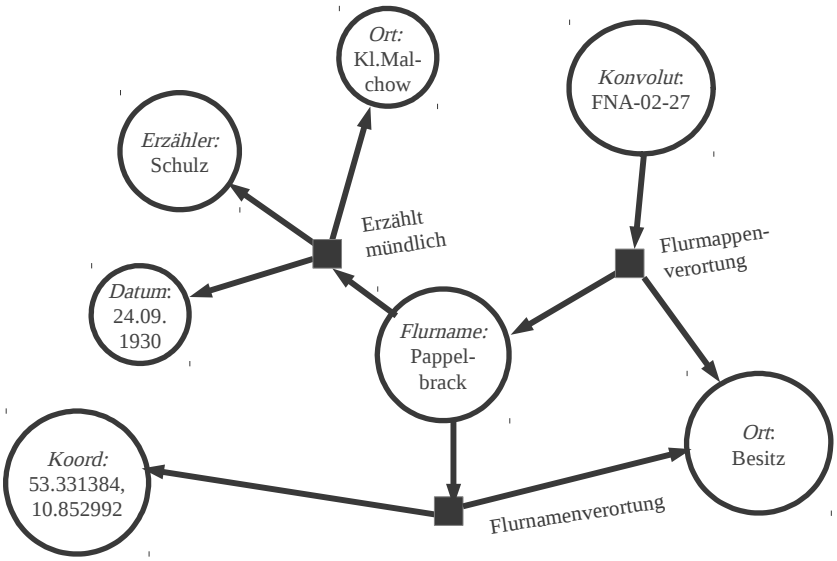


Abb. 2: Modellierung der Flurnamenzettel und deren Beiträger mittels Hyperkanten

Wossidlo-Archiv zum Einsatz, da sie (1) eine Darstellung einer Vielzahl von deskriptiven, strukturellen, administrativen und technischen Metadaten erlauben, (2) den volkskundlichen Kanon (Thesaurus) effektiv darstellen können, (3) die gespeicherten Fakten in den räumlich-zeitlichen (historischen) Kontext setzen können, (4) eine Darstellung unscharfer und vager Information erlauben, sowie (5) das Mashup mit anderen Systemen wie OPACs, Dokument-Repositorien, GND- und GOV-Datenbanken erlauben.

Die Graphdaten in WossiDiA[4] umfassen ca. 2 Millionen Knoten und 800.000 Hyperkanten sowie 1,2 Millionen digitalisierte Dokumente, vornehmlich Feldforschungsbelege, Beiträgerkorrespondenzen, Flurnamenverzeichnisse, Literaturauszüge und weiteres Material.

Formale Grundlage gerichteter Hypergraphen Hypergraphen sind ein mathematisches Konzept [Be89] und werden u.a. im Bereich der Mengenlehre und speziell der Kombinatorik von Mengen eingesetzt. Sie weisen eine Verwandschaft zu gewöhnlichen Graphen auf und können als eine Anwendung von bipartiten Graphen gesehen werden. Während ein Graph mit Kanten zwischen Paaren von Knoten (Ecken) arbeitet, beschäftigen sich Hypergraphen mit Hyperkanten, die auch mehr als zwei Knoten enthalten können. Unterscheidet man zwischen Quell- und Zielknoten, spricht man von gerichteten Hyperkanten, der Hypergraph ist gerichtet [Ga93, ADS86].

Mathematisch gesehen, besteht ein gerichteter Hypergraph $G = (N, E)$ aus eine Menge von Knoten N und einer Menge von $E \subseteq P(N) \times P(N)$ Hyperkanten. Eine Hyperkante $e = (T, H), e \in E$ hat Quell- $T = tail(e)$ und Zielknoten $H = head(e)$. Ausiello et al. fordern weiterhin, das $|H| = 1$. Diese Beschränkung nehmen wir nicht an, sondern folgen der Sichtweise von Gallo [Ga93]. Weiterhin wird oftmals gefordert, dass weder T noch H leere Mengen sind, etwa bei Gallo et al. Wir hingegen erlauben Hyperkanten mit leerem Kopf H oder Schwanz T. Ebenfalls schließen in der Literatur manche Definition das gleichzeitige Auftreten vom selben Knoten in H und T aus. Im WossiDiA-Modell ist dies erlaubt und wird als ungerichtete Teilnahme interpretiert, bzw. wenn man eine Hyperkante als Funktion $f_i(tail(e_i)) \rightarrow head(e_i)$ auffasst, die Quellknoten des Schwanzes ($T_i = tail(e_i)$) auf Zielknoten des Kopfes $H_i = head(e_i)$) abbildet, muss nicht $H \setminus T = \varnothing$ bzw. nicht $\forall (n_i, n_j), n_i \in T, n_j \in H \Rightarrow i \neq j$ gelten, vielmehr kann ein Knoten Element des Definitions- wie Bildbereiches sein.

Typisierte Knoten und Hyperkanten In einem typisierten Hypergraphen können wir Knoten und Kanten jeweils einen Typ aus der Menge Knoten- und Kantentypen zuordnen. Damit erhalten wir typisierte Knoten und Kanten. Knotentypen verwenden ein namensbasiertes Typsystem, es gibt etwa Personen, Orte, Ereignisse. Der Typ *Person* bestimmt zwar welche zugehörigen Attribute (Eigenschaften) zu einem Knoten vom Typ *Person* gespeichert werden können, einzelne Knoten lassen sich aber nicht anhand aktueller Attribute einem Typ zuordnen, vielmehr sagt die Typbezeichnung dies erst eindeutig aus. Mögliche Werte zu den Eigenschaften eines Knotens ergeben sich aus den elementaren Datentypen, wie sie üblicherweise in Datenbanksystemen (hier PostgreSQL) Verwendung finden. Nachfolgendes Beispiel zeigt die Definition eines Knotentyps Person:

```
CREATE NODETYPE person (
   vorname STRING, nachname STRING, geboren TIMESPAN, anrede STRING);
```

[4] http://www.wossidia.de/

Kantentypen sind hingegen durch ihre Struktur determiniert. Diese Struktur wird in Form eines Inhaltsmodells für die Hyperkante festegelegt, das sehr ähnlich den XML-Inhaltsmodellen ist. Dabei werden Knotentypen anhand von Rollen der Hyperkante zugeordnet. Bei der Zuordnung können diese Rollen-Knotentyp-Paare mittels Alternative, Tupeltyp, Gruppierung oder Quantifizieren kombiniert werden, sowie weiterhin die Richtung der Teilnahme an der Hyperkante festegelegt werden. Damit sind recht komplexe Integritätsbedingungen an den Inhalt einer Hperkante spezifizierbar. Eine Aktivität, die häufig in WossiDiA erfasst wird, könnte mit folgender Hyperkanten-Definition verbunden werden:

```
CREATE HYPEREDGE TYPE aktivität MODEL (
   start:date IN, ende:date IN, handlungsort:place? IN,
   akteur:person* IN, aktion:descr OUT, beobachter:person? OUT);
```

Graphanfragen Neben einer Graphalgebra, die Basis der Anfragefunktionalität im Beckend-System PostgreSQL ist, wird eine deskriptive Hypergraph-Anfragesprache GrafL in Anlehnung an XQuery verwendet. Basisoperationen, die neben der Datendefinition und -manipulation unterstützt werden, lassen sich in drei Klassen einteilen: (1) inhalts- und strukturbasierte Prädikate, (2) Typ-auswertende Operationen und (3) Graph-Operationen. Folgende einfache Anfrage liefert alle Hyperkanten vom Typ `erzählt`. Sie wird gefolgt von der strukturbasierte Anfrage, die den Typ derjenigen Knoten, die ein Attribut `benennung` und `koordinaten` haben, liefert:

```
LET $e := Edge::erzählt RETURN $e;
LET $p := Node WHERE $p.benennung AND $p.koordinaten
RETURN $p.type
```

Unterstützte Graph-Algorithms sind u.a. Knotenkonnektivität, K-Nachbarschaft oder K-Shortest-Path. Folgendes Beispiel liefert den oder die kürzesten Pfade in Form einer Liste von Hyperkanten, die die Personen „Ahrens“ and „Helms“ verbindet:

```
LET $p1 := Node::person, $p2 := Node::person
WHERE $p1.nachname = "Ahrens" AND $p2.nachname = "Helms"
RETURN shortest-path($p1, $p2)
```

Für eine detailliertere Beschreibung des Hypergraphmodells und den Anfragemöglichkeiten von *Hydra.PowerGraph* wird auf [MSH17] verwiesen.

3 Umsetzung des Flurnamenarchivs mit dem Hypergraphmodell

Eine digitale Erschließung von analogen Archiven mit Unterstützung von Crowdsourcing-Methoden ist in der heutigen Zeit keine Seltenheit mehr. Auch im Zusammenhang mit

der Wahrung wichtigen Kulturerbes gibt es bereits viele, auch internationale, Initiativen, die eine solche Arbeitsweise für sich entdecken konnten. Ein explizites Konzept für eine angemessene digitale Erschließung, ausgerichtet auf den hochspeziellen Charakter des Mecklenburgischen Flurnamenarchivs, konkretisiert nun, nach Einbeziehung und Untersuchung umfassender Einflussfaktoren und beteiligter relevanter Themenbereiche, diese Möglichkeit der Erschließung des Flurnamenarchivs [Li17]. Im Rahmen dessen wird nachfolgend die konkrete Modellierung des WossiDiA-Systems zur Bewältigung komplexer Zusammenhänge solcher Archivbestände verdeutlicht, welche als Grundlage eine spezielle Modellierung zur digitalen Erschließung des Flurnamenarchivs erst ermöglicht.



Abb. 3: Metadaten des Fragebogens — Beispielort: Boissow (s. Abb. 1); Quelle: Wossidlo-Archiv

Hypergraphmodell des Flurnamenarchivs Unabhängig von dem letztendlichen eingesetzten Crowdsouring-Verfahren oder dem entsprechenden Anbieter zur Realisierung der eingentlichen Deskribierung wurde es unabdingbar, die zu erfassenden Daten im Umfeld der WossiDiA-Datenbank vorhalten zu können. Hierzu war es notwendig, neue Datenstrukturen möglichst flexibel zu entwerfen, um diese für die entsprechenden Geodaten und Informationen zu Flurnamen aufnahmefähig umzusetzen. Hinzu kommt die Fähigkeit der Vernetzung der neuen Daten mit den bereits vorhandenen Daten des Systems, wie bspw. mit Orten oder Personen. Bezugnehmend auf diese Notwendigkeiten wird nachfolgend eine mögliche Struktur für die Fragebögen der Flurnamenforschung, der Daten der Georeferenzierung und der möglichen Vernetzung vorgestellt.

Flure Für die Datenhaltung der Informationen aus den Listen der Flure ist es sinnvoll, die Attribute bzw. Hyperkantentypen in erster Linie an dem Aufbau der Belege zu orientieren. Für die statischen Informationen zu den Fluren wird ein Knotentyp gebraucht. Dafür müsste in der Hypergraphdatenbank ein Knotentyp `flur` angelegt werden. Dieser Knotentyp wird folglich mit Attributen der Listen versehen, die nicht als Hyperkante abgebildet werden. Hyperkantentypen im WossiDiA haben den Vorteil, dass bspw. bei der Erfassung von Informationen auf ein semi-kontrolliertes Vokabular für angegebene Beschreibungen zurückgegriffen werden kann, z.B. bei Personen, Orten, Begriffen, Abkürzungen etc., die

bereits in einem anderen Kontext erfasst wurden. Es wird dadurch angestrebt, Redundanzen zu vermeiden.

Dementsprechend sind die nachfolgenden Informationen, welche innerhalb der Analyse des Archivs im Zusammenhang zu Fluren auf ihr Inhaltsspektrum überprüft wurden, anzulegen bzw. zu erweitern. Hierbei war zu definieren, ob als statische Attribute oder Hyperkantentypen. In der folgenden Tabelle wurden diese Informationen zusammengetragen. Dabei wird nach der Übersicht nicht nur beschrieben, wie der Knotentypen `flur` anzulegen ist, sondern auch, wie sich die Hyperkantentypen aufgrund der Informationen bilden.

Nr.	Attribut	Metadaten
1	**Ort**	Hyperkantentyp `Flurmappenverortung`
1a		Hyperkantentyp `Flurverortung`
2	**Amtsangehörigkeit**	Hyperkantentyp `Amtsregion`
3	**sonstige nähere Bezeichnung**	Hyperkantentyp `Wossi-Region`
4	**gesammelt von**	Hyperkantentyp `gesammelt`
4a		Hyperkantentyp `Beruf/Rolle/Ort`
5	**Nummer**	Attribut `String`
6	**Name**	Attribut `String`
7	**Quelle**	Hyperkantentyp `Erzaehlt`
8	**Lage**	Attribut `String`
9	**Art**	Hyperkantentyp `Verartung`
10	**Bemerkung**	**Aktuell:** Attribut `String`
11	**Geodaten**	Hyperkantentyp `Geoverortung`

Tab. 1: Übersicht der Attribute und Hyperkantentypen für die Flure

Wie aus den originalen Dokumenten und den zusammengestellten Informationen der vorangegangenen Tabelle ersichtlich wird, ist der Knotentyp `flur` zumindest mit den folgenden festen Attributen anzulegen:

- `Nummer`: Eine Nummerierungsvorgabe, welche nummerisch [10], römisch [X] oder auch alphanummerisch [10a]) vergeben wurde. Hier wäre alternativ auch ein nummerischer Datentyp zur Anwendung in Frage gekommen, allerdings müssten dann die Nummerierungen bei Orten, bei denen die Flurnamen nicht nummerisch in der Karte und Liste des Archivmaterials erfasst wurden, direkt im Zuge der Deskribierung neu vergeben werden. Diese Nummerierung stellt eine temporär Information dar, welche nach der Transkription zur Referenzierung bezüglich der Verortung notwendig wird. Nach Abschluss verliert die Nummer im Weiteren ihre Bedeutung.
- `Name`: Freitext im Form des Namens des Flurs
- `Lage`: Freitext; beschreibt die Himmelsrichtung vom Ort aus gesehen, bspw. SO.; NO.; O.; N. etc.
- `Info`: Bemerkung, Freitext; keine bis umfassende Randinformationen, Erklärungen,

Beschreibungen sowie Verweise zur Herkunft und vieles mehr zum Flur und dessen Namen.

Dies geschieht mit folgender Datendefinitionsanweisung:

```
CREATE NODETYPE flur (
   Nummer String, (: Nummer in der Liste zum zugehörigen Ort :)
   Name String,   (: Name des erfassten Flurs :)
   Lage String,   (: Lage, Himmelsrichtung ausgehend vom Ort :)
   Info String    (: Bemerkungen zum Flur :));
```

Für alle weiteren Informationen aus der Tab. 1 werden, der eingeteilten Art der Umsetzung entsprechend, Hyperkantentypen angelegt oder erweitert. Grundlage hierfür war die Orientierung an der Topologie oder Struktur ausgehend vom Fragebogen (Mappe, siehe Abb. 1). Auf Grundlage dieser Tatsache und der Verbundenheit von Attributen zu anderen Knotentypen sind für die restlichen Informationen zu den Fluren nachfolgende Hyperkantentypen einzurichten, zu modifizieren bzw. zu nutzen:

1. Ort: Verbindung von `fna1` (Mappe) und `place` (Ort). Diese Verbindung wird aufgrund von mehrfach vorhandenen Listen zu gleichlautenden Orten sinnvoll und ist auch bereits vorhanden. An dieser Stelle wird jedoch eine Erweiterung eben dieses bestehenden Hyperkantentyps `Flurverortung` um eine neue Alternative empfohlen. Es existiert zwischen Dokumenten und Orten bereits eine Verknüpfung, jedoch für beliebig viele Orte zum Fragebogen. Dies müsste für eine Alternative zu genau einem Ort erweitert werden und wird zudem umbenannt in „Flurmappenverortung“ aufgrund des Dokumentcharakters der Beziehung der Knotentypen.

1a. Ort: Aufbau eines neuen Hyperkantentyps für `flur` (Flur) und `place` (Ort). Diese Verbindung ist auf Metaebene der Flure entscheidend. Hier soll es ermöglicht werden, beliebig viele Flure mit einem Ort zu verbinden. Für die Benennung dieses Hyperkantentyps ist `Flurverortung` vorgesehen. Hier eine mögliche Definition:

```
CREATE EDGETYPE Flurverortung MODEL (
   Ort:place IN, Flur:flur+ OUT);
```

2. Amtsangehörigkeit: Ist eine Verbindung von `place` (Ort) und `place` (Ort), bei der eine Sammlung von Orten einem konkreten Ort als Amtsangehörigkeit zugeordnet wird. Hier wird ein Hyperkantentyp analog zu `Wossidlo-Region` empfohlen, mit dem Unterschied, dass die Region als Ort nun durch das Amt als Ort zu ersetzen ist. Die grundlegende Struktur ist dabei jedoch zu erhalten.

3. sonstige nähere Bezeichnung Da für diese Informationen häufig ortserweiternde Regionsbezeichnung, wie bspw. „bei Rostock“, verwendet wurden, kann potenziell der Hyperkantentyp `Wossidlo-Region` hier sinnvoll genutzt werden.

4. gesammelt von: Nutzung einer Verbindung von `fna1` (Mappe) und `person` (Person), wobei ein Fragebogen von einem oder mehreren Sammlern zusammengetragen worden sein kann. Zumeist ist nur genau ein Sammler verzeichnet, jedoch könnte es Ausnahmen geben, wo Sammler und `Obmann` verzeichnet wurden.

4a. gesammelt von: Zur selben Information gibt es auch optionale ergänzende Rollenangaben zu den Sammlern, wie Lehrer, Pastor etc. Aus diesem Grund wird ein Hyperkantentyp für `fna1` (Mappe) und `personrole` (Personenrolle) erforderlich. Diese Verbindung von Person und Personenrolle ist bereits auf Modellebene `Beruf/Rolle/Ort` vorgesehen. Es kann natürlich vorkommen, dass auf Ebene der Kanten diese trotzdem noch angelegt werden müssen für neue Daten, die im Rahmen der Deskribierung des FNA hinzukommen.

7. Quelle: Hierfür wird ein Hyperkantentyp für `flur` (Flur) und `personrole` (Personenrolle) benötigt, um Zuordnungen bezüglich möglicher Informationen zu Personenrollen für die Herkunft der Flurnamen abbilden zu können. Üblicherweise wurden als Quelle Namensüberlieferung aus dem Volksmund erfasst, jedoch zumeist nicht mit konkreten Namen, sondern über Berufe, Rollen etc., wie z.B. Kuhhirte. Aus diesem Grund bietet sich hier ein Hyperkantentyp an. Eine Neuanlage ist in diesem Zusammenhang nach Analyse jedoch unnötig, denn es werden bereits diverse Hyperkantentypen für eine Verbindung zu `personrole` genutzt. Somit sind dementsprechend lediglich die Hyperkantentypen `Erzaehlt`, `Erzaehlt (muendlich)` und `Erzaehlt (schriftlich)` jeweils um die alternative Quelle `flur` (Flur) zu erweitern, damit eine Person, Personenrolle oder Abkürzung als eine Flurnamenquelle geführt werden kann. Dies erfüllt dann allumfassend die notwendigen Anforderungen an die Information „Quelle“.

9. Art: Hier kann potenziell eine optionale Verbindung zwischen `flur` (Flur) und `word` (Begriff) genutzt werden. Charakterisiert wird diese Information dadurch, dass zu dem Flur angegeben werden kann, dass es sich um eine Wiese, einen bewaldeten Hügel, eine Brücke oder Ähnliches handelt. Einige dieser Begriffe werden im WossiDiA auch bereits geführt.

11. Geodaten Punkte als Koordinaten einer genauen geografischen Lage und die Flure werden durch einen neuen Hyperkantentyp `Geoverortung` der Knotentypen `flur` (Flur) und `geodata` (Koordinaten) verbunden.

Georeferenzierung Die Haltung der Geodaten sollte für weitere zukünftige Verwendungsmöglichkeiten flexibel aufgestellt werden, um unter anderem auch Geburtsorte, Orte oder ähnliche Objekte und Fakten mit Koordinaten versehen zu können. Hierzu bietet sich das Anlegen eines separaten Knotentyps `geodata` an. Dieser kann dann per Hyperkantentyp mit jedem anderen Knotentyp verbunden werden. Dieser Knotentyp sollte initial für eine Verwaltung von geografischen Punkten vorbereitet werden, die mit einer räumlichen Typisierung zu koppeln sind. Der geometrische Typ von `PostGis`[5] nutzt zwei Parameter:

[5] PostGIS ist eine Erweiterung für die objektrelationale Datenbank PostgreSQL, die geografische Objekte und Funktionen umfasst und dabei den SQL/MM Spatial Standard implementiert[St03].

zum einen den konkreten Typ für die Daten (POINT, LINESTRING, POLYGON, . . .) und zum anderen die Angabe eines geodätischen Referenzsystems zur Transformation der Punkte, Linienzüge etc. Hier ist aktuell nur das WGS 84 als einheitliche Grundlage für Positionsangaben auf der Erde und im erdnahen Weltraum von `PostGis` vorgesehen.

Crowd-basierte Übertragung des Flurnamenarchivs Auch wenn das Anwendungspotenzial von Crowdsourcing (CS) — Begriff erstmalig im Jahr 2006 geprägt[Ho06], vielseitig ist und in den unterschiedlichsten Bereichen zum Einsatz kommt, ist gerade im Zusammenhang zum *Mecklenburgischen Flurnamenarchiv* der interdisziplinäre Teilbereich *Digital Humanities* im Kontext dieser Initiative als besondere Spezialisierung hervorzuheben. Entscheidend und zielführend sind hierbei die Teilbereiche der Transkriptionen (Abschriften) und der Teilbereich Verortung (engl. Locating) für das Projekt der Deskribierung des Mecklenburgischen Flurnamenarchivs. Verdeutlicht wird dies auch bereits durch die Abb. 1, welche einen Auszug der Diversitäten an Kartenmaterial und Erfassungsbögen des Archivs darstellt. Mit Bezug auf vorangegangene Initiativen im Bereich Digital Humanities (DH), welche auf Basis von CS agierten, ist der Gewinn, welcher durch eine Zusammenbringung mit modernen CS-Methoden erreicht wird, ein unglaublicher Vorteil.

Wichtig für eine Umsetzung sind dabei verschiedene Schwerpunkte der eigentlichen Aufgabenbewältigung hinsichtlich der zuvor genannten Teilbereiche mit Sicht auf die Technologie, genauso wie weitere Herausforderungen bezüglich der Qualität, der einzubeziehenden Nutzer und deren Motivation sowie weiteren Qualitätsfaktoren wie Vollständigkeit, Aktualität, relative und absolute geometrische Genauigkeit bei Angabe der Geodaten sowie Korrektheit und Konsistenz der Daten, um nur einige zu nennen. Außerdem wichtig war die explorative Begutachtung ausgewählter Plattformen und Serviceanbieter aus Wissenschaft und Wirtschaft, um einen Überblick über die heutigen Möglichkeiten und Praktiken zu erhalten. Diese wurden im entstandenem Konzept, neben den zuvor beschriebenen Schwerpunkten zur Umsetzung, am Beispiel des Mecklenburgischen Flurnamenarchivs berücksichtigend einbezogen. Nach Entscheidung des WossiDiA-Projektteams, auf Basis des vorangegangenen Konzeptes, für einen externen Full-Service Dienstleister wird nun die CS-Umsetzung zeigen, in wie weit eine solche Abarbeitung eines recht spezifischen Bestandes mit diversitären Materialien von Erfolg gekrönt sein kann.

4 Verwandte und weiterführende Arbeiten

Das im digitalen Archivsystem *Hydra.PowerGraph* verwendete Modell basiert auf typisierten, gerichteten Hypergraphen [Be89]. Gallo et al. hat als erster umfassend die Theorie gerichteter Hypergraphen dargestellt [Ga93]. Umfangreiche Arbeiten zu gerichteten Hypergraphen gibt es auch bei Ausiello et al. [ADS86]. Weitere Details zum System *Hydra.PowerGraph* und der Anfragesprache findet man in [MSH17]. Das digitale Wossidlo-Archiv wird in [MSS14] beschrieben.

Die voranschreitenden Vorgänge und Forschungen im Umfeld von WossiDiA halten viel Potenzial für eine tiefenerschließende Verzahnung der verschiedenen Bestände bereit. So sind nicht nur Vernetzungen der Flurnamen kulturell wertvoll, sondern auch denkbare Querverweise zu anderen Beständen wie den Ortschroniken, um nur einen momentan stark bearbeiteten Bereich des Instituts für Volkskunde (IVK) zu nennen. Eine solche technische Verbindung der Knotentypen durch Hyperkantentypen bestimmen die Zusammengehörigkeit der einzelnen Informationen untereinander und ermöglichen nicht nur das schnelle Auffinden, sondern zielen auch darauf ab, Hintergründe von Ortschroniken, welche bspw. Flurnamen in überlieferten Geschichten der Erzählforschung erwähnen, im Detail ergründen zu können [Sc14].

Wie erwähnt waren die Verluste des FNA im Zeitraum von 1930 bis hin zur Zeit des DDR-Regimes enorm. Denkbar wäre deshalb eine mögliche ergänzende Forschung mit anderweitig vorhandenen Hinweisen auf Flurnamen, die in Verbindung zu konkreten Orten stehen, was teils aus den noch erhaltenen Zettelkästen des FNA hervorgeht. So könnte man versuchen, diese und deren Namen von älteren Ortskundigen zu erfragen. Zudem möglich wäre für die Erfassung von Georeferenzierungen eine flächendeckende Darstellung Mecklenburgs in Form einer Landeskarte, welche durch ein Ampelschema erschlossene, teilerschlossene und noch zu erschließende Gebiete offerieren könnte. Denkbar wäre auch an dieser Stelle eine Verzahnung mit diversen anderen Beständen, wie Orte, Gebiete der Erzählforschung etc., welche zukünftig ebenfalls Geodaten beherbergen könnten.

Eine solche Darstellung und Vernetzung von Beständen könnte potenziell auch mit dem sogenannten *Holsten-Archiv* für Pommern, welches sich aktuell in Stettin befindet, mittels weiterführenden Gemeinschaftsprojekten und Forschungsarbeiten vorgenommen werden, denn der „Lehrer und Volkskundler [, Robert Holsten,] tat in Pommern das, was Richard Wossidlo in Mecklenburg machte: Er sammelte regionale Bezeichnungen, Sitten und Gebräuche, die ihm seine «Zuträger» aus allen Kreisen Pommerns überbrachten.“[Ha16].

Erst Anfang 2016 wurde die pommersche Flurnamensammlung von dem Schweriner Wilfried Krempien, der enge verwandtschaftliche Beziehungen zu Wossido hat, in Polen aufgespürt. Die wiederentdeckte Sammlung umfasst 43 Kästen mit alphabetisch geordneten 20.000 Karteikarten mit Flurnamen der einzelnen Kreise Pommerns, die sich nun im Archiv der Stettiner Universität befinden. Das dazugehörige Kartenmaterial und die Erläuterungsbögen befinden sich im Archäologischen Museum Stettins. Angedacht vom IVK ist eine solche kooperative Zusammenarbeit, sodass es bereits mehrere Treffen, Besichtigungen und Termine beider universitärer Seiten gab und im Juni 2017 ein weiterführender Workshop zu vernetzten Themenbereichen in Greifswald stattfinden wird.

5 Zusammenfassung

Die Umsetzung des Mecklenburgischen Flurnamenarchivs mit dem typisierten, gerichteten Hypergraphmodell von *Hydra.PowerGraph* kommt der Struktur und dem semi-struktu-

rierten Charakter der vorliegenden Dokumente entgegen. Dies erlaubt ausserdem eine nahtlose Integration mit dem volkskundlichen digtalen Archiv WossiDiA [MSS14]. Für die Übertragung der Flurnamen und deren Position aus den zumeist in Kurrent- oder Sütterlinschrift vorliegenden Listen und Karten in Form von Messtischblättern, lokalen Flurkarten oder Handzeichnungen wurde ein Crowdsourcing-Ansatz gewählt. Erfahrung hiermit werden im Rahmen eines Workshops präsentiert, dauern jedoch momentan noch an.

Literaturverzeichnis

[Ab97] Abiteboul, Serge: Querying semi-structured data. In: Database Theory — ICDT'97. Springer, S. 1–18, 1997.

[ADS86] Ausiello, Giorgio; D'Atri, Alessandro; Saccà, Domenico: Minimal Representation of Directed Hypergraphs. SIAM J. Comput., 15(2):418–431, 1986.

[Be89] Berge, Claude: Hypergraphs — Combinatorics of Finite Sets. North Holland, 1st editi-on. Auflage, 1989.

[Ga93] Gallo, G.; Longo, G.; Pallottino, S.; Nguyen, S.: Directed Hypergraphs and Applications. Discrete Applied Mathematics, 42(2):177–201, 1993.

[Gr16] Greve, Dieter, Hrsg. Flurnamen in Mecklenburg-Vorpommern: mit einem Lexikon der Flurnamenelemente (Flurnamen von A bis Z). Stiftung Mecklenburg, Schwerin, 2016.

[Ha16] Schwerin: Hobbyforscher löst „Fall Holsten“ | nnn.de.

[Ho06] Howe, Jeff: The rise of crowdsourcing. Wired magazine, 14(6):1–4, 2006.

[Li17] Lichtwark, Martin: Crowdsourcing in digitalen Archiven. Aufbereitung, Analyse und Konzeption einer Deskribierung am Mecklenburgischen Flurnamenarchiv. Bachelor thesis, Universität Rostock, Germany, 2017.

[Me08] Mecklenburg: Zur Flurnamenforschung; Aufruf zur Flunamenforschung; Fragebogen für die Flurnamenforschung. Zeitschrift des Heimatbundes Mecklenburg (Landesverein des Bundes Heimatschutz), 3.(1):16–22, 1908.

[MSH17] Meyer, Holger; Schering, Alf-Christian; Heuer, Andreas: The Hydra.PowerGraph System — Building digital archives with directed and typed hypergraphs. DB-Spektrum, 17(2), Juli 2017.

[MSS14] Meyer, Holger; Schering, Alf-Christian; Schmitt, Christoph: WossiDiA — The Wossidlo Digital Archive. In (Meyer, Holger; Schmitt, Christoph; Janssen, Stefanie; Schering, Alf-Christian, Hrsg.): Corpora ethnographica online. Waxmann, Münster, New York, 2014.

[Sc14] Schmitt, Christoph: Szenarien semantischer Vernetzung zwischen regionalethnographi-schen und dialektlexikographischen Korpora im Online Projekt WossiDiA. In (Bühler, Rudolf; Bürkle, Rebekka; Leonhardt, Nina, Hrsg.): Sprachkultur — Regionalkultur. Neue Felder kulturwissenschaftlicher Dialektforschung. Tübingen, S. 255–286, 2014.

[St03] Stolze, Knut: SQL/MM Spatial-The Standard to Manage Spatial Data in a Relational Database System. In: BTW. Jgg. 2003, S. 247–264, 2003.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 1149

Speicherung bibliographischer Metadaten in relationalen und nicht-relationalen Datenbankmodellen

Robert Stephan[1], Meike Klettke[2]

Abstract: Bibliotheken haben verschiedene, viele Jahre bewährte Metadatenformate für die Beschreibung ihrer Medien und die Recherche entwickelt. Diese etablierten Formate können auch in Digital Humanities Projekten genutzt werden. Im Folgenden werden Verfahren zur Transformation und Speicherung der von den Bibliotheken bereitgestellten Daten in unterschiedlichen Datenbankmodellen und -systemen vorgestellt sowie Vor- und Nachteile der einzelnen Varianten diskutiert.

Keywords: MARC; relationale Datenbanken; NoSQL; XML; JSON; Linked Data; Wide Column

1 Einleitung

In vielen Digital Humanities Projekten besteht die Aufgabe, komplexe Text-Kollektionen zugänglich zu machen, sei es in Textsammlungen, Digitalen Editionen oder der Dokumentation von Kulturgut. In allen diesen Fällen muss eine Vielzahl von Textdokumenten erschlossen und mit Metadaten beschrieben werden. Die Erfassung und Klassifikation von Texten ist seit vielen Jahren eine der Kernaufgaben von Bibliotheken. Dafür schufen sie komplexe Regelwerke, wie die Anglo-American Cataloguing Rules (AACR) oder die Regeln für die alphabetische Katalogisierung (RAK). Beide werden derzeit durch den neuen internationalen Standard Resource Description and Access (RDA) abgelöst. Für die Speicherung der Daten selbst wurden bibliographische Metadatenformate entwickelt. International wird vor allem das Format MARC oder eines seiner Derivate eingesetzt.
In diesem Artikel wird gezeigt, wie MARC-Daten auf verschiedenen technischen Plattformen wie relationalen und NoSQL-Datenbanksystemen bereitgestellt werden können. Die Auswahl einer geeigneten Speichervariante ist auch für Digital Humanities Projekte relevant, da neben der konzeptionellen Entscheidung für einen Standard auch technische Aspekte der Transformation und Speicherung der Daten Berücksichtigung finden müssen. Dafür werden im Folgenden verschiedene Varianten verglichen und bewertet.

MARC. Das Machine Readable Cataloging Format (MARC) wurde in den 1960ern von einem Team um Henriette D. Avram an der Library of Congress entwickelt. Die bibliographischen Angaben von Büchern wurden in MARC codiert, auf Magnetbändern gespeichert und den US-Bibliotheken zum Ausdruck von Katalogkarten übersandt.

[1] Universität Rostock, Universitätsbibliothek, 18051 Rostock, robert.stephan@uni-rostock.de
[2] Universität Rostock, Institut für Informatik, 18051 Rostock, meike.klettke@uni-rostock.de

doi:10.18420/in2017_116

Der Start eines UK/MARC Pilotprojektes an der British National Bibliography (BNB) legte den Grundstein für die Entwicklung zu einem internationalen Standard. Es entstanden viele lokale MARC-Dialekte, die zwar dieselbe Struktur aber unterschiedliche Feldbelegungen verwendeten. 1998 führten die Library of Congress und die kanadische Nationalbibliothek ihre lokalen MARC-Varianten in einem neuen gemeinsamen Standard *MARC21* zusammen, der seit 2004 auch von der Deutschen Nationalbibliothek als Format für den elektronischen Datenaustausch verwendet wird. Die Struktur ist im Standard ISO 2709:2008: „Format for Information Exchange“ beschrieben.

Aufbau eines MARC-Datensatzes und Beispieldatensatz. In diesem Artikel soll der Datensatz zu Henriette Avrams Veröffentlichung „The MARC II format“ (Library of Congress, Washington DC, 1968)[Avr68] [3] als Beispiel dienen, um die verschiedenen Formate, Datenmodelle und Transformationen vorzustellen (Abb 1 und 2).

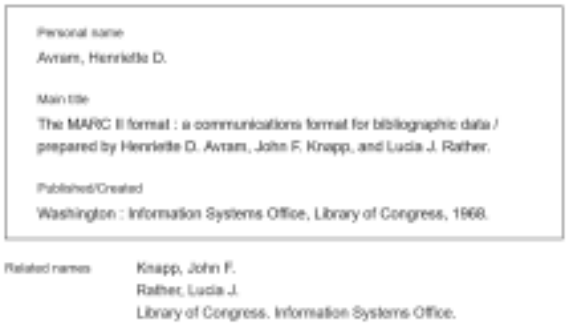


Abb. 1: Online-Katalogisat der Library of Congress für „The MARC II format“ [LoC]



Abb. 2: MARC-Ansicht der Library of Congress für „The MARC II format“ [LoC]

Ein MARC-Datensatz wird durch drei Elemente beschrieben: die *Datensatzstruktur*, als Implementierung des ISO Standards „Format for Information Exchange“ [ISO08], die *Inhaltsbeschreibung* (engl. content designation) als Festlegung, welche Strukturelemente verwendet werden, und die eigentlichen *Daten*, welche durch bibliothekarische Regelwerke wie RDA genauer spezifiziert sind.

[3] Online-Katalogisat der Library of Congress unter dem Permalink `https://lccn.loc.gov/68061408`

Im Folgenden wird die Struktur eines MARC-Datensatzes vorgestellt, die sich aus den drei Hauptkomponenten *Leader*, *Directory* und *Variable fields* zusammensetzt (siehe Abb. 3).



Abb. 3: MARC-Datensatz für „The MARC II format“

Der *Leader* umfasst 24 Zeichen und enthält codierte Informationen, die für die Verarbeitung des Datensatzes notwendig sind. Das *Directory* umfasst Einträge von je 12 Zeichen Länge, die das *Tag* (Datenfeld-ID), die Länge und die Position des ersten Zeichens für jedes Datenfeld enthalten. Die Daten werden als *Variable fields* codiert. Man unterscheidet zwischen *Control fields*, die mit `00X` beginnen und lediglich Werte enthalten können und *Data fields*. Diese bestehen aus *Indicator positions*, welche zusätzliche Angaben für die Interpretation der Daten enthalten und mehreren *Subfields*, die durch ihr ersten Zeichen (*Subfield code*) identifizierbar sind. Die Informationseinheiten werden durch Steuerzeichen (ASCII: `1D`, `1E`, `1F`) getrennt.

Alle Felder und Unterfelder sind wiederholbar. Allerdings wird in der Datensatzbeschreibung definiert, dass bestimmte Felder, wie der Titel (MARC: `245`) nur einmal vorkommen dürfen. Die Feldbeschreibungen[4] regeln auch die Wiederholbarkeit von Unterfeldern.

Schauen wir uns am Beispieldatensatz (Abb. 3) einzelne Aspekte genauer an: Die ersten fünf Zeichen im Leader (`01571`) enthalten die Länge des Datensatz. Der erste Eintrag im Directory (`001000700000`) sagt aus, dass das erste Feld das Tag `001` hat, 7 Zeichen lang ist und an Position 0 beginnt. Der letzte Eintrag (`991004401141`) beschreibt, dass das Feld mit dem Tag `991` die Länge 44 hat und an Position 1141 beginnt.

In der MARC-Ansicht (Abb. 2) sehen wir in Feld `245` den Titel. Der zweite Indikator (`4`) definiert, dass die ersten vier Zeichen bei einer Sortierung unbeachtet bleiben, da sie einen Artikel bilden. Unterfeld `a` enthält den Titel selbst, Unterfeld `b` den Untertitel und Unterfeld `c` die Verfasserangabe auf dem Titelblatt. Bereits an diesem kurzen Beispiel erkennt man die Mächtigkeit von MARC für die Codierung bibliographischer Metadaten. Für weitere Feldbeschreibungen verweisen wir auf die Webseiten der Library of Congress[5].

[4] z.B. für Titel: `https://www.loc.gov/marc/bibliographic/bd245.html`
[5] `https://www.loc.gov/marc/bibliographic/`

2 Verwendung relationaler Datenbanken

Die Informationen des MARC-Formates können in relationalen Datenbanken gespeichert werden. Das relationale Datenmodell wurde im Jahr 1970 von Edgar F. Codd eingeführt [Cod70]. Es bildet die Grundlage aller relationalen Datenbanksysteme.

Speicherung von MARC-Datensätzen. Für die Erstellung des relationalen Modells wurden die Bestandteile eines MARC-Datensatzes ermittelt und daraus die resultierenden Relationen (`record`, `controlfield`, `datafield`, `subfield`) und deren Abhängigkeiten abgeleitet. Der `leader` wird als Attribut der Relation `record` gespeichert, da er genau einmal auftritt.

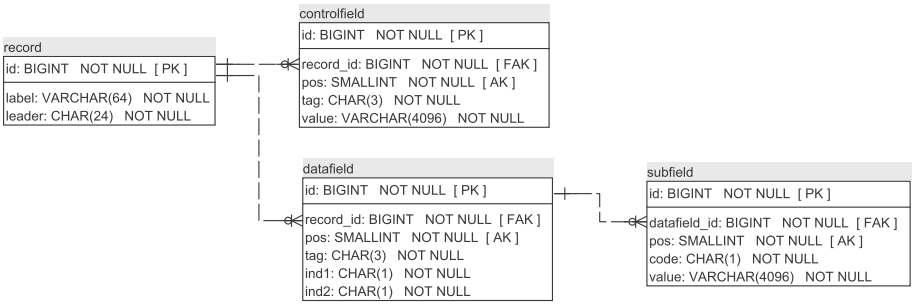


Abb. 4: Tabellenmodell zur Speicherung von MARC-Daten in einer relationalen Datenbank[6]

Abb. 4 zeigt die resultierende Tabellendefinitionen und die 1:n Beziehungen zwischen den Tabellen. Die Tabelle `record` enthält eine Spalte `label`, die den Dateinamen des MARC-Datensatzes aufnimmt, sowie eine Spalte `leader` für den Datensatzkopf. Die Tabelle `controlfield` enthält einen Fremdschlüsselverweis auf die Tabelle `record`. In der Spalte `pos` wird die Position des Feldes innerhalb des Records abgelegt. `tag` enthält den Namen des Feldes und `value` dessen Inhalt. In der Tabelle `datafield` verweist ein Fremdschlüssel (`record_id`) zum Datensatz. Weitere Spalten enthalten die Position (`pos`), den Feldnamen (`tag`) und die Indikatoren (`ind1` und `ind2`). Die Tabelle `subfield` enthält einen Verweis zum Datenfeld (`datafield_id`), dem das Unterfeld zugeordnet ist sowie Spalten für die Position (`pos`), den Code (`code`) und den Inhalt (`value`) des Unterfeldes. Alle Datentypen wurde entsprechend der MARC-Spezifikation definiert.
Für den in Abb. 2 dargestellten Ausschnitt aus einem MARC-Datensatz ergeben sich die in Abb. 5 dargestellten Tabelleneinträge.

Anfragen. Anfragen werden in relationalen Datenbanksystemen in der Sprache *SQL* formuliert. Auf Grund der einheitlichen Struktur (`record` → `datafield` → `subfield`) lassen sich einfache Anfragen nach kompletten Datensätzen, bzw. deren IDs leicht formulieren, wie zum Beispiel: Gib mir alle Datensätze für Publikationen, an denen der Autor X beteiligt war und in deren Titel das Wort Y vorkommt.

[6] erstellt mit SQL Power Architect, Community Edition (`http://www.sqlpower.ca/page/architect`)

Tabelle: **marc.record**

id	label	leader
1	sample.marc.xml	01571cam a2200385 a 4500

Tabelle: **marc.controlfield**

id	r_id	pos	tag	value
2	1	0	001	288783
3	1	1	005	20001002131231.0
4	1	2	008	710404s1968 dcua b 000 0 eng

Tabelle: **marc.datafield**

id	r_id	pos	tag	ind1	ind2
5	1	1	100	1	
7	1	2	245	1	4
11	1	3	260		
15	1	4	700	1	
17	1	5	700	1	
19	1	6	710	2	

Tabelle: **marc.subfield**

id	df_id	pos	code	value
6	5	1	a	Avram, Henriette D.
8	7	1	a	The MARC II format :
9	7	2	b	a communications format for bibliographic data
10	7	3	c	prepared by Henriette D. Avram, John F. Knapp, and Lucia J. Rather.
12	11	1	a	Washington :
13	11	2	b	Information Systems Office, Library of Congress,
14	11	3	c	1968.
16	15	1	a	Knapp, John F.
18	17	1	a	Rather, Lucia J.
20	19	1	a	Library of Congress.
21	19	2	b	Information Systems Office.

Abb. 5: Relationale Speicherung von MARC II-Daten

Die granulare Speicherung der Informationen erweist sich bei der Formulierung komplexerer Anfragen jedoch als problematisch. Soll das Dokument oder Teile davon im Ergebnis der Anfrage rekonstruiert werden, sind eine Vielzahl von teuren Joinoperationen und Subselect-Anfragen notwendig.

3 XML-Dokumentenorientiertes Datenbankmodell

XML[7] ist eine durch das W3C standardisierte Metasprache. Damit lassen sich domainspezifische Sprachen für die Beschreibung von Daten oder Dokumenten definieren. Im Bibliotheksumfeld werden zahlreiche XML-basierten Standards verwendet. Zu nennen sind hier *MODS* [8] zur Beschreibung von bibliographischen Metadaten, *METS* [9] zur Speicherung von beschreibenden, administrativen und Struktur-Metadaten für Objekte in einer Digitalen Bibliothek und *TEI* [10] zur strukturierten Speicherung von Texten.

MARC in XML. 2004 stellte Mottram [Mot04] mit *XMARC* eine sehr kompakte XML-Repräsentationen für das MARC-Datenformat vor, in der Feld- und Unterfeldbezeichner in den Elementnamen codiert werden können (siehe List. 1).

[7] `https://www.w3.org/TR/REC-xml`
[8] `http://www.loc.gov/standards/mods/`
[9] `http://www.loc.gov/standards/mets/`
[10] `http://www.tei-c.org/`

```
<f100>
  <f100i1>1</f100i1><f100i2> </f100i2>
  <f100sa>Avram, Henriette D.</f100sa>
</f100>
```

List. 1: XMARC Notation für Erstautor

Heute durchgesetzt hat sich die im ISO-Standard 25577 [ISO13] definierte Notation *MARCXML* der Library of Congress. Im Standard werden mögliche Einsatzszenarien wie Austausch von MARC-Datensätzen in XML, Verwendung in Webservices und der Einsatz als Zwischenformat in verschiedenen Datentransformations- und Datenmanipulationszenarien aufgezählt. Feld- und Unterfeldbezeichner werden in dieser Notationsform in Attributen codiert (siehe List. 2).

Konvertierung. Bibliothekssysteme können heute MARC-Datensätze im MARCXML-Format exportieren. Um MARC nach MARCXML zu konvertieren, werden zuerst die Bestandteile *Leader*, *Directory* und *Variable Fields* ermittelt. Danach werden die Einträge des *Directory* durchlaufen und aus ihnen der Name, die Position und die Länge des *Control Field* oder *Data Field* extrahiert. Anschließend werden die *Indicator* und *Subfield* Werte aus dem Feldinhalt gelesen und alle Informationen als XML-Struktur ausgegeben.

```
<?xml version="1.0" ?>
<record xmlns="http://www.loc.gov/MARC21/slim">
  <leader>01571cam a2200385 a 4500</leader>
  <controlfield tag="001">288783</controlfield>
  <controlfield tag="005">20001002131231.0</controlfield>
  <controlfield tag="008">710404s1968    dcua     b    000 0 eng  </controlfield>
  <datafield tag="100" ind1="1" ind2="␣">
    <subfield code="a">Avram, Henriette D.</subfield>
  </datafield>
  <datafield tag="245" ind1="1" ind2="4">
    <subfield code="a">The MARC II format :</subfield>
    <subfield code="b">a communications format for bibliographic data /</subfield>
    <subfield code="c">prepared by Henriette D. Avram, ...</subfield>
  </datafield>
  <datafield tag="260" ind1="␣" ind2="␣">
   <subfield code="a">Washington :</subfield>
   <subfield code="b">Information Systems Office, Library of Congress,</subfield>
   <subfield code="c">1968.</subfield>
  </datafield>
  <datafield tag="700" ind1="1" ind2="␣">
    <subfield code="a">Knapp, John F.</subfield>
  </datafield>
  <datafield tag="700" ind1="1" ind2="␣">
    <subfield code="a">Rather, Lucia J.</subfield>
  </datafield>
  <datafield tag="710" ind1="2" ind2="␣">
    <subfield code="a">Library of Congress.</subfield>
    <subfield code="b">Information Systems Office.</subfield>
  </datafield>
</record>
```

List. 2: MARCXML Notation für Beispieldatensatz

4 JSON-Dokumentenbasiertes Datenbankmodell

JSON ist ein von der ECMA[11] standardisiertes Format für die Serialisierung von Objekten, das aufgrund der Unterstützung durch Internet-Browser vorrangig für die Verarbeitung von Daten im Internet eingesetzt wird. JSON-Dokumente stellen darüber hinaus das Datenmodell von verschiedenen NoSQL-Datenbanksystemen dar.

Ein Objekt in JSON wird durch Eigenschaften (Schlüssel-Wert-Paare) beschrieben. Diese sind nicht wiederholbar und ihre Reihenfolge ist nicht definiert. Um MARC-Daten abbilden zu können, bei denen sowohl die Wiederholbarkeit und die Reihenfolge der Datenfelder relevant sind, muss deshalb auf JSON-Arrays zurückgegriffen werden.

In den letzten Jahren wurden verschiedene Ansätze zur Serialisierung von MARC-Daten in JSON implementiert, u.a. *MARC-JSON* durch Andrew Houghton von OCLC Research [Hou10] und *MARC-HASH* durch Bill Dueber [Due10]. Exemplarisch soll an dieser Stelle die Notation *MARC-in-JSON* von Ross Singer vorgestellt werden. In [Sin10] beschreibt er die Intention und Merkmale seiner Notation wie folgt:

> „MARC-in-JSON is a proposed JSON schema for representing MARC records as JSON. It is the outgrowth of working with MARC data in MongoDB and is intended to be both a faithful representation of MARC as well as a logical and useful model to work natively in JSON-centric environments. Ideally, this serialization could eventually replace binary MARC as the default format. The round trip of a MARC-in-JSON record from MARC to JSON back to MARC is lossless and preserves field/subfield order.“

```
{ "leader": "01571cam a2200385 a 4500",
  "fields": [ { "001": "288783" },
              { "005": "20001002131231.0" },
              { "008": "710404s1968    dcua     b    000 0 eng  " },
              { "100": { "ind1": "1", "ind2": " ",
        "subfields": [ { "a": "Avram, Henriette D." } ] } },
              { "245": { "ind1": "1", "ind2": "4",
        "subfields": [ { "a": "The MARC II format :" },
                       { "b": "a communications format for bibliographic data /" },
                       { "c": "prepared by Henriette D. Avram,
                              John F. Knapp, and Lucia J. Rather." } ] } },
              { "260": { "ind1": " ", "ind2": " ",
        "subfields": [ { "a": "Washington :" },
                       { "b": "Information Systems Office, Library of Congress," },
                       { "c": "1968." } ] } },
              { "700": { "ind1": "1", "ind2": " ",
        "subfields": [ { "a": "Knapp, John F." } ] } },
              { "700": { "ind1": "1", "ind2": " ",
        "subfields": [ { "a": "Rather, Lucia J." } ] } },
              { "710": { "ind1": "2", "ind2": " ",
        "subfields": [ { "a": "Library of Congress." },
                       { "b": "Information Systems Office." } ] } } ] }
```

List. 3: MARC-in-JSON-Notation für den Beispieldatenatz

[11] ECMA International - European association for standardizing information and communication systems

Speicherung von MARC-Daten im JSON-Format. List. 3 zeigt den Beispieldatensatz in der *MARC-in-JSON*-Notation. Charakteristisch für diese Notation ist die Zusammenfassung von Controlfields und Datafields in einem Array `fields`, sowie die Codierung der MARC-Tags und Subfield-Codes als Namen von Objekteigenschaften. Die Verwendung von Arrays für Felder und Unterfelder stellt die Beibehaltung der Reihenfolge sicher.

5 Linked Data Modell

Vor ca. 10 Jahren begannen erste Bibliotheken mit Linked Data zu experimentieren. Heute bieten große Einrichtungen wie die Library of Congress, die Deutsche Nationalbibliothek und Bibliotheksverbünde wie das *hbz* ihre Katalogdaten als Linked Data zum Download an.

Abbildung von MARC auf das Linked Data Model. In den letzten Jahren gab es mehrere Arbeiten zur Bereitstellung bibliographischer Daten als Linked Data. Park und Kipp [PK14] untersuchten die Vorschläge der Harvard University Library, der Library of Congress, OCLC Worldcat und der Nationalbibliothek von Spanien und ermittelten, dass die Bibliotheken unterschiedliche Ontologien und Vokabulare für die Abbildung der gleichen Informationen verwendeten, sodass diese Daten untereinander nicht mehr kompatibel sind. Um Metadaten langfristig im Semantic Web zu publizieren, müssen Institutionen gemeinsam Standards entwickeln, einsetzen und fortschreiben. Auf Grund des Fehlens eines etablierten Linked Data Schemas für bibliographische Metadaten und dem Ziel in diesem Artikel, vor allem MARC-Strukturen und weniger Inhalte abzubilden, wird ein neues Linked Data Schema für MARC entwickelt, das die Strukturen möglichst 1:1 abbildet.

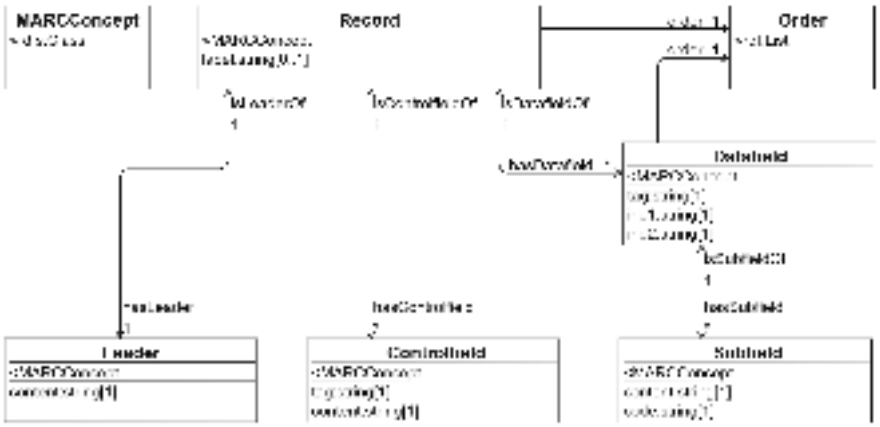


Abb. 6: OWL Schema für MARC in RDF[12]

Die Herausforderung bei der Umsetzung stellt wiederum die Reihenfolge dar. Sie ist in MARC aufgrund der Wiederholbarkeit gleichbenannter Felder zwingend zu erhalten. In RDF lässt sich die Reihenfolge mittels `rdf:List`[13] modellieren.

[12] erstellt mit OWLGrEd (`http://owlgred.lumii.lv/`)

[13] `https://www.w3.org/TR/rdf-schema/#ch_collectionvocab`

```
_:b30 a marc:Datafield ;
      marc:tag "245" ; marc:ind1 "1" ; marc:ind2 "4" ;
      marc:hasSubfield _:b33 , _:b32 , _:b31 ;
      marc:order (_:b31, :_b32, :_b33 ).

_:b31 a marc:Subfield ;
      marc:code "a" ; marc:content "The MARC II format :" .

_:b32 a marc:Subfield ;
      marc:code "b" ; marc:content "a communications format for bibliographic data /" .

_:b33 a marc:Subfield ;
      marc:code "c" ; marc:content "prepared by Henriette D. Avram, ..." .
```

List. 4: Auszug aus MARC Beipspieldatensatz in RDF (Turtle-Syntax) für den Titel (Datafield 245)

Die Definition eines Schemas für MARC in RDF erfolgte mittels OWL[14]. OWL erweitert RDF-Schema[15] um zusätzliche Features. Abb. 6 zeigt die Komponenten des Schemas in einer UML-ähnlichen Notation. List. 4 zeigt den Ausschnitt aus dem MARC-Beispieldatensatz, der den Titel des Werkes (Datafield 245) beschreibt.

Im Jahr 2011 hat die Library of Congress mit der Entwicklung von *Bibframe* begonnen, das langfristig, basierend auf Semantic Web Technologien, MARC als bibliographisches Metadatenformat ablösen soll [Mil+12, S. 3]. Im März 2017 wurden das BIBFRAME Model and Vocabulary 2.0 und eine Spezifikation für die Konvertierung von MARC-Daten nach Bibframe veröffentlicht. Das in Abb. 6 vorgestellte Linked Data Modell für MARC könnte als Ausgangsbasis für die anstehenden Migrationen verwendet werden.

6 Spaltenorientiertes Datenbankmodell

ColumnKey (field_tag, field_pos, subfield_tag, subfield_pos) / RowKey (id)	label	leader	001|1	005|2	008|3	100|4			245|5					260|6					700|7			700|8			710|9			
			#|1	#|1	#|1	_ind|1	_ind|2	a|1	_ind|1	_ind|2	a|1	b|2	c|3	_ind|1	_ind|2	a|1	b|2	c|3	_ind|1	_ind|2	a|1	_ind|1	_ind|2	a|1	_ind|1	_ind|2	a|1	b|2
sample	sample.marc	01571cam a2200385 a 4500	28783	20001002131231.0	710404s1968 dcua b 000 0 eng	"1"	" "	Avram, Henriette D.	"1"	"4"	The MARC II format :	a communications format for bibliographic data /	prepared by Henriette D. Avram, John F. Knapp, and Lucia J. Rather.	" "	" "	Washington :	Information Systems Office, Library of Congress,	1968.	"1"	" "	Knapp, John F.	"1"	" "	Rather, Lucia J.	"2"	" "	Library of Congress.	Information Systems Office.

Abb. 7: Beispieldatensatz in WideColumn Format

Chang et.al. beschrieben 2006 die Grundlagen des spaltenorientierten Datenmodells (engl. *wide column*) in [Cha+06] als *Bigtable* - eine dünnbesetzte, verteilte, persistente

[14] https://www.w3.org/OWL/

[15] https://www.w3.org/TR/rdf-schema/

multidimensionale sortierte Map-Struktur. Der Map-Schlüssel wird aus Zeilenschlüssel, Spaltenschlüssel sowie einem Timestamp zusammengesetzt. Die Werte der Map stellen beliebige, für das System nicht interpretierbare, Bytearrays dar. Weil der Zeitpunkt der letzten Änderung für jeden Wert als Timestamp verfügbar ist, kann die Daten-Synchronisation zwischen verschiedenen Systemen dezentral, ohne einen koordinierenden Server, erfolgen.

Spaltenorientierte Speicherung von MARC. Für die Abbildung der MARC-Struktur auf das spaltenorientierte Modell mussten geeignete Schlüssel definiert werden, die auch die Reihenfolge der Datenfelder berücksichtigen. Als Zeilenschlüssel wurde die Datensatz-ID gewählt. Der Spaltenschlüssel wurde aus ID und Position des *Datafields* sowie ID und Position des *Subfields* zusammengesetzt. Für die Spezialfelder *Label* und *Leader* wurden einfache Spaltenschlüssel gewählt. (siehe Beispieldatensatz in Abb. 7).

7 Bewertung und Fazit

Die hier vorgestellten Datenmodelle wurden anhand folgender Kriterien verglichen:
Mächtigkeit des Datenmodells. Lässt sich die MARC-Struktur vollständig abbilden? Werden hierarchische Strukturen und verschiedene Datentypen gespeichert?
Zusammenhängende Speicherung. Wird der Datensatz als Ganzes gespeichert oder in viele Informationseinheiten zerlegt?
Reihenfolge. Bildet das Datenmodell die Reihenfolge für Datensatzbestandteile direkt ab oder müssen zusätzliche Informationen (z.B. Ordnungsattribute) ergänzt werden?
Hin- und Rücktransformation. Lässt sich nach einer Transformation in das neue Datenmodell das Ausgangsmodell durch eine Rücktransformation wiederherstellen?
Transformationsaufwand. Kann die Transformation des Datenformates einfach und seriell erfolgen? Kann auf die Speicherung von Zwischenergebnissen und komplexe Operationen verzichtet werden?

Für jedes Datenmodell wurde exemplarisch ein typisches, weit verbreitetes Open-Source System ausgewählt, um daran diese weiteren Kriterien zu prüfen:
Konsistenz. Wie unterstützen die Systeme das parallele Bearbeiten von Datensätzen und lösen ggf. auftretende Konflikte auf (ACID oder BASE Prinzip)?
Replikation. Hier wird angegeben, inwieweit die Systeme eine verteilte Bearbeitung der Daten auf mehreren Servern und die Synchronisation unterstützen.
Anfragesprache. Implementiert das Systeme eine vielseitige, möglichst standardisierte Anfragesprache?
Sprachumfang Lassen sich komplexe Anfragen an das System stellen (Adressierung einzelner Felder, Verwendung boolescher Operatoren, Bereichsanfragen, Wildcards, Funktionen für die Volltextsuche)? Lassen sich einzelne Elemente eines Datensatzes zurückgeben und neu kombinieren?
Indexierung. Lässt sich die Performanz von Anfragen auf großen Datenmengen durch die Definition von Indizes oder ähnliche Konzepte steigern?
Partielle Updates. Lassen sich einzelne Datensatzbestandteile aktualisieren oder muss immer der komplette Datensatz neu geschrieben werden?

Zur Bewertung werden maximal drei Punkte vergeben. Eine Eigenschaft kann vollständig (• • •), im Wesentlichen (••), eingeschränkt (•) oder nicht (○) erfüllt sein.

	relat. DB	XML DB	JSON	LinkedData	Col. Stores
Datenmodell	• • •	• • •	••	••	••
zus. Speicherung	•	• • •	• • •	•	••
Reihenfolge	••	• • •	• • •	••	••
Hin-/Rücktransform.	• • •	• • •	• • •	• • •	• • •
Transform.aufwand	• • •	• • •	• • •	••	••
System	PostgreSQL	BaseX	MongoDB	RDF4J	Cassandra
Konsistenz	ACID	ACID	ACID[16]	ACID	BASE
Replikation	••	○	• • •	○	• • •
Anfragesprache	SQL	XQuery	find()	SPARQL	CQL3
Standardisierung	• • •	• • •	•	• • •	•
Sprachumfang	• • •	• • •	••	••	•
Indexierung	• • •	• • •	• • •	••	•
Partielle Updates	• • •	• • •	• • •	• • •	• • •

Es konnte gezeigt werden, dass alle untersuchten Systeme MARC-Daten mit ihrer festen Feld-Unterfeld-Struktur speichern können. Die Wahl ist abhängig vom konkreten Anwendungsfall. Relationale Datenbanken sind für kleine Datenmengen gut geeignet. Der XML-basierte Ansatz erlaubt eine zusammenhängende Speicherung. Das geprüfte XML-basierte System verfügt über eine ausgereifte Anfragesprache, zeigt aber Schwächen bei der Replikation. Bei größeren Datenmengen haben JSON-basierte und spaltenorientierte Systeme mit guten Replikationseigenschaften Vorteile. Die Aufspaltung der Daten in Triples erschwert die Arbeit mit Linked-Data-Systemen.
Die Systeme für die modernen Speichervarianten unterliegen noch einer starken Weiterentwicklung und setzen unterschiedliche Schwerpunkte, sodass die Bewertung nur bedingt auf andere Vertreter der jeweiligen Kategorie übertragbar ist.

Für eine detailliertere Darstellung und Vergleich der verschiedenen Speicherverfahren und Systeme sowie die Anwendung auf die Formate MARC und MODS (einem weiteren XML-basierten Metadatenformat der Library of Congress) sei auf [Ste17] verwiesen. Abschließend kann festgestellt werden, dass die Nutzung bewährter Bibliotheksformate in den Digital Humanities mehrere Vorteile bietet. An erster Stelle zu nennen sind dabei die gute Dokumentation, die langfristige Pflege und kooperative Fortschreibung durch die Bibliotheken. Bei Bedarf können die Formate erweitert und dadurch zusätzliche Informationen aufgenommen werden. Sie sind stabil genug, sodass Tools und Verfahren darauf aufbauen können. Ihre internationale Verbreitung und die große Anzahl verfügbarer Datensätze ermöglicht es Digital Humanities Projekten, diese Daten als Forschungsgegenstand zu nutzen oder in eigene Datensammlungen zu integrieren.

[16] bei Speicherung kompletter Dokumente

Literatur

[Avr68] Henriette D. Avram. *The MARC II format : a communications format for bibliographic data*. Washington, D.C.: Library of Congress, Information Systems Office, 1968. URL: https://eric.ed.gov/?id=ED024413.

[Cha+06] Fay Chang u. a. „Bigtable: a distributed storage system for structured data“. In: *OSDI '06: 7th USENIX Symposium on Operating Systems Design and Implementation*. 2006, S. 205–218. URL: https://research.google.com/archive/bigtable-osdi06.pdf.

[Cod70] E. F. Codd. „A Relational Model of Data for Large Shared Data Banks“. In: *CACM Communications of the ACM* 13.6 (1970), S. 377–387. ISSN: 0001-0782. DOI: 10.1145/362384.362685.

[Due10] Bill Dueber. *A Proposal to serialize MARC in JSON*. Webseite. 2010. URL: http://robotlibrarian.billdueber.com/2010/02/new-interest-in-marc-hash-json/ (besucht am 30. 06. 2017).

[Hou10] Andrew Houghton. *MARC-JSON Draft 2010-03-11*. Webseite. 2010. URL: https://web.archive.org/web/20110807045044/http://www.oclc.org/developer/content/marc-json-draft-2010-03-11 (besucht am 30. 06. 2017).

[ISO08] *ISO 2709:2008 - Information and documentation – Format for information exchange*. 2008. URL: https://www.iso.org/standard/41319.html.

[ISO13] *ISO 25577:2013(en) - Information and documentation — MarcXchange*. 2013. URL: https://www.iso.org/standard/62878.html.

[LoC] Library of Congress. *LC Online Catalog - Item Information: The MARC II Format*. URL: https://lccn.loc.gov/68061408 (besucht am 30. 06. 2017).

[Mil+12] Eric Miller u. a. *Bibliographic Framework as a Web of Data: Linked Data Model and Supporting Services*. Techn. Ber. Washington, DC: Library of Congress, Nov. 2012. URL: http://www.loc.gov/bibframe/pdf/marcld-report-11-21-2012.pdf.

[Mot04] Geoff Mottram. *XMARC (Version 1.0) XML Mapping for MARC-Data*. Webseite. 2004. URL: http://http://www.minaretsoftware.com/xmarc/ (besucht am 30. 06. 2017).

[PK14] Hyoungjoo Park und Margaret E.I. Kipp. „Evaluation of Mappings from MARC to Linked Data“. In: 25th ASIS SIG/CR Classification Research Workshop (2014). ISSN: 2324-9773. DOI: 10.7152/acro.v25i1.14908.

[Sin10] Ross Singer. *A Proposal to serialize MARC in JSON*. Webseite. 2010. URL: https://rossfsinger.com/blog/2010/09/a-proposal-to-serialize-marc-in-json/ (besucht am 30. 06. 2017).

[Ste17] Robert Stephan. *Vergleich und Analyse von relationalen und nicht-relationalen Datenbankmodellen und -systemen zur Speicherung bibliographischer Metadaten*. Masterarbeit. HU Berlin (IBI), 2017.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 1161

Introducing NoXML for the Digital Humanities

Thomas Efer[1]

Abstract: This paper argues, that a pluralism of data models is needed in the practice of the Digital Humanities. Relevant technology for different levels of model expressiveness should be made available in the form of readily usable tools and infrastructure, together with generic and discipline-specific materials that allow an informed choice of a fitting data model for specific use cases. While it is seen as a vital (and quite viable) task to ensure the interoperability between different DH projects, community-made data encoding schemas, source collections and analysis tools, there is no striking reason to restrain all aspects of those efforts to the traditional XML ecosystem. Therefore a statement is made to venture into employing novel approaches and technologies (subsumed as *NoXML*) that augment the current tooling by providing missing modeling constructs.

Keywords: Data Models; Technology; Digital Humanities; NoXML

1 Motivation

Relational database systems have been the de facto standard for organizing, persisting and querying data for decades. The formative phase for the definition of how abstract and real-life data could be modeled within the relational paradigm began as early as the 1970es, when milestones such as the Boyce-Codd normal form [Co74] and the Entity Relationship Model [Ch76] were introduced. Subsequently, the easily comprehensible table-centric data model accompanied by the (more or less) vendor-independent query standard SQL, led to a major commercial success which resulted in a long-term technological stability of relational technology. It was not until the advent of the Web 2.0 with a rising inherent demand for a huge variety of database features, that other systems slowly moved into focus. Realtime feeds and analytics of social interactions, huge data sets that need large clusters of storage and processing units, unstructured and semi-structured data streams, highly interconnected distributed knowledge resources – all those growing application areas challenged the technical approach of classical database systems. To cope with the new requirements (mainly with respect to scalability and expressiveness) there have been numerous efforts to implement new storage and query mechanisms, each with a fitting data model. The technological progress included simple cases, such as key-value-stores, novel solutions, as big columnar stores, or continuations of older research fields, such as graph databases. All these different projects formed a heterogeneous movement to provide choice and variance among database technology, which has been labelled *NoSQL*, as an acronym

[1] Universität Leipzig, NLP Group, Augustusplatz 10, 04109 Leipzig, Germany efer@informatik.uni-leipzig.de

doi:10.18420/in2017_117

for *Not only SQL*. The wide availability of NoSQL tools has since then been a key-enabler for many modern applications running on tiny embedded systems up to huge distributed and elastically scalable systems. — So how does this all relate to the Digital Humanities?

XML technologies have been the de facto standard for organizing, persisting and querying textual (and plenty of other) data in the humanities disciplines for decades. The formative phase for the definition of how abstract and real-life data could be modeled within the markup paradigm began as early as the 1980es, when the SGML was introduced and through a lot of practical input slowly refined into the XML standard that is maintained by the World Wide Web Consortium. It was not until the recent trend of establishing the Digital Humanities as an independent field (/ a collection of best practices / a trans-disciplinary methodology / . . . [2]) and a lot of interest in digital methods from the humanities disciplines, that a variety of different modeling needs arose in the areas of edition, annotation, processing, exploration and presentation of source material. Surprisingly, the issues of XML (albeit well-known and well investigated, see e.g. [Sc10]) have not gained the wide attention of humanities scholars and computer scientists within the DH community. There is no larger technological or methodological movement to challenge the apparent monoculture of XML formats, source collections and tools. But now it seems, the time is ripe to introduce NoXML[3] into the DH: To state, that there is *Not only XML* available for modeling data. Incidentally some of the existing NoSQL technologies are good candidates for enriching the DH toolbox. For specific aspects there may still be technological solutions to be found so, that there is a need to articulate those needs and requirements in order to enable computer scientists to research fitting solutions. The plea for NoXML should not be misunderstood as an announcement of yet another of the numerous “turns” in scholarly methodology. It is rather to the opposite a call to create an environment that is supporting all the existing and upcoming alternative perspectives on sources and theories with suitable tool sets. It is plain to see, that facts and interpretations that are harder to express in a given modelling setup are more likely to be left aside, given limited resources (which applies to almost any DH project). Therefore a pluralism of possible data models liberates scholars in the long run to take the perspective most fitting instead of the ones most conveniently expressible.

2 XML: One Size Fits All?

The following observations put a focus on textual data since this is still the main type of resource dealt with in the DH. Nevertheless it is likely that other types of media (and especially mixed media research objects) do possess a similar (if not higher) degree of complexity and interconnectedness so that same conclusions apply. For the scholarly digital representation of textual data (such as diplomatic and critical editions and research corpora of various text sorts) there exists a definitive guide, which is compiled by the Text Encoding

[2] A narrow definition of the DH is beyond the scope of this article and would probably be misguided anyway.

[3] The term NoXML was used before in [Le14] to argue for a decoupling of XPath from the XML data model. While this is in line with the arguments in this paper, here NoXML should be understood in a broader sense.

Initiative (TEI) [TE16]. These guidelines are the result of ongoing multidisciplinary scholarly work since the 1980es and represent thus an invaluable basis for all sorts of text encoding needs. Burnard calls the TEI in [Bu14] with good reason *one of the longest-lived and most influential projects in the field now known as the Digital Humanities*.

The modelling roots of the TEI coincide with the work on SGML and early XML so that the representation of certain concepts in the TEI is closely bound to the paradigm of single hierarchies obtained by the nesting of elements to create a tree structure of documents. The so formed textual model is called the Ordered Hierarchy of Content Objects (OHCO) – see [De90] and for a critique and relativization of the original model [RMD96]. While it is indeed possible to express facts and generally represent data in the TEI outside of the OHCO as e.g. [Br05] shows, doubts may arise as whether the resulting documents are still sufficiently human readable or even machine processible by means of standard tooling. The incredible wealth of encoding possibilities covered by the TEI grammar made it quite unwieldy as a whole (and therefore as an XML document type), so that more focused subsets have been created, especially in recent years[4]. But the direct binding to markup theory yield many shortcomings and modeling compromises, for example when mixing XML with binary data or when pointing to external resources. It is however not the aim of this paper to provide a comprehensive list of what may or may not be wrong with XML (or in-place markup and single hierarchies in general). It rather wants to announce that alternatives exist, which may be more suitable for specific use cases. For (non-standard) corpus creation and annotation there have been trends to choose a text representation with reduced complexity for easier and more flexible processing abilities[5]. Other initiatives seek to introduce greater expressiveness into textual models, mainly using graphs and Linked Data technologies with underlying data models such as Property Graphs, RDF statements as well as the (both mildly XML-influenced) OWL ontologies and Topic Maps. They cover issues such as text variants [Sc10], interoperable linguistic annotations [ZR10, Ne15], text mining and information retrieval [Ef15], stemmatology [KA16] and digital editions [Ku16]. There have also been efforts to use the abstract model of the TEI specification as a semantic web vocabulary independently from XML [Tu06, Ci16]. In addition, some approaches try to gently bridge the gap between an existing scholarly hierarchization (of both text collections and sub-work passages) and more versatile data models: With the CITE infrastructure and the CTS referencing scheme [SW09] there exists an important step towards the stand-off annotation of canonical texts via loosely coupled linked data references.

The areas in which XML seems not to be the most satisfying solution include non-destructive text normalization and multiple parallel text views as well as all aspects of versioning and source provenience. Excursions into other data models do moreover also allow to go beyond textual data towards document and author metadata, including external data managed by

[4] see e.g. the different TEI subsets compiled by
- Deutsches Textarchiv (`http://www.deutschestextarchiv.de/doku/basisformat`),
- Institut für Deutsche Sprache (`http://www1.ids-mannheim.de/kl/projekte/korpora/textmodell.html`) and
- the TEI consortium itself (`http://github.com/TEIC/TEI-Simple`)

[5] see for example the work on "mARkdown" by Maxim Romanov: `https://alraqmiyyat.github.io/mARkdown/`

norm data providers. They allow flexible connections with gazetteers and the GIS ecosystem as well as the realization of diverse temporal models – preferably including some kind of "events" as first-class modelling constructs. Maybe some aspects which are currently deemed very difficult to model turn out to be well manageable given different underlying data models. All this is neither a statement for more generic or more specific nor for simpler or more complex models – just for creating a larger choice among them. When regarding XML less as a model or mode of interaction with data and more as a serialization format (applicable for arbitrary data structures), it is obvious that it is a very potent technology with a vast and sturdy existing tool support. Without good reason this should not have to be changed at all. Good reasons could lie in the issues of compression and processing efficiency that may ultimately favour binary formats such as Protocol Buffers[6]. In the case of web services there has been a recent tendency to aim for lightweight JSON solutions for reasons of processing cost and security concerns (e.g. stemming from XML entity resolution). But other than that, there is nothing wrong with exchanging data through XML and even archiving it in that form – as long as this does not imply a strong binding to a single-hierarchy model for the data itself.

3 Desiderata and Outlook

As stated, an advance towards NoXML should not be seen as an attempt of revolt or revolution but rather as a liberating augmentation of the existing DH toolbox. No past resource has to be changed (unless deemed beneficial) but future projects are provided with more flexibility to devise an adequate modelling environment. As the raw technology seems to be already in place or at least underway, it is a valid question to ask: Where is the point of this article? Well, there are still a lot of outstanding tasks until a critical mass is reached:

First and foremost it is important to raise awareness for the matter of technological pluralism and the existence of different modelling approaches (with all their advantages and disadvantages) among the diverse DH communities. Data models matter! Considerate effort – both through theoretical and methodological works as well as with open source implementations and refined infrastructural services – has to be put into creating materials for that purpose. This should allow to gradually replace naïve and often quite unreflecting uses of existing technology with informed choices. According to McCarty a sound reflection of data models and data representation ultimately *[. . .] does not matter to the person interested only in output or effects. But it is crucial to the person, [. . .] who wants to know what is lost in translation, and more importantly what that loss illumines.* [Mc13]

Second, a systematic interdisciplinary exploration of the currently available technology and state-of-the-art modelling research is needed in order to create guidelines of "when to use what" that have to be based on relatable and somewhat paradigmatic humanities use cases. The spectrum of investigations should – in the tradition of NoSQL – well go over

[6] https://developers.google.com/protocol-buffers/

data model questions and therefore consider also technological trends from the surrounding areas such as hypermedia, semantic technologies, business process modelling, metadata repositories and the like. In any case, a wide range of tools and services should be made available to the community of practitioners as the result of those investigations. Ultimately, more research has to be conducted on the implications that different data models have on the practice of modelling and the role (in terms of expressive freedom as well as cognitive load) that a choice among multiple modelling constructs has on performing research tasks. It is likely that those insights show that the relationship between scholar and modelling tool is quite complex and surely goes beyond Maslow's popular hammer.

A likely point of criticism towards the aforementioned ideas and proposed initiatives would be, that they would lead to a blurring of the community and a fragmentation of workforce. While it is in generally not clear why the practice of out of the box thinking, that the humanities usually excel in, should stop when it comes to data models, the point is really not as strong as it may seem at first: The fragmentation is already there, inherent in the different communities. Epigraphy, literary studies and linguistics all deal with texts but do it in such different ways that even when they all use the TEI model, they rarely ever come in touch with one another. The unifying power of this model is also questionable, given the many efforts of creating smaller, better manageable TEI dialects. The question is nevertheless pressing: Can we afford to provide three or four different modelling technologies in parallel? This would indeed be extremely cumbersome and quite irresponsible unless there would be a reasonable level of interoperability between them ensured. On the technical level that may be done via importers, exporters, and completely transparent interfaces (which should still somehow be explicit about what is lost in a conversion). On the semantic level good practices for interoperability have still to be found. There is a certain trend to have a lightweight interlinked rather than a monolithic and centralized approach for this task. But in the end, the use of distributed and interlinked specialized vocabularies together with a semantic alignment via shallow upper ontologies, such as the CIDOC-CRM [Do03], can also be performed parallel to each other – without reducing the overall value. What remains to express, is the hope to inspire a dissemination of new modelling approaches and technology in the DH communities as well as to promote informed data modelling.

Acknowledgements: The author's work is partially funded by the German Federal Ministry of Education and Research under project ScaDS Dresden/Leipzig (BMBF 01IS14014B)

References

[Br05] Bradley, John: Documents and Data: Modelling Materials for Humanities Research in XML and Relational Databases. LLC, 20(1):133–151, 2005.

[Bu14] Burnard, Lou: What Is the Text Encoding Initiative? – How to Add Intelligent Markup to Digital Resources. Encyclopédie Numérique. OpenEdition Press, 2014.

[Ch76] Chen, Peter Pin-Shan: The Entity-Relationship Model – Toward a Unified View of Data. ACM Transactions on Database Systems, 1(1):9–36, Mar 1976.

[Ci16] Ciotti, Fabio; Silvio, Peroni; Francesca, Tomasi; Fabio, Vitali: An OWL 2 Formal Ontology for the Text Encoding Initiative. In: Book of Abstracts of the DH. pp. 151–153, 2016.

[Co74] Codd, Edgar F.: Recent Investigations into Relational Data Base Systems. In (Rosenfeld, Jack L., ed.): Proceedings of the IFIP Congress. volume 6, pp. 1017–1021, 1974.

[De90] DeRose, Steven J.; Durand, David G.; Mylonas, Elli; Renear, Allen H.: What is text, really? J. Computing in Higher Education, 1(2):3–26, 1990.

[Do03] Doerr, Martin: The CIDOC Conceptual Reference Module: An Ontological Approach to Semantic Interoperability of Metadata. AI Magazine of the Association for the Advancement of Artificial Intelligence, pp. 75–92, 2003.

[Ef15] Efer, Thomas: Text Mining with Graph Databases - Traversal of Persisted Token-Level Representations for Flexible On-Demand Processing. 842, pp. 157–167, 2015.

[KA16] Kaufmann, Sascha; Andrews, Tara Lee: Bearbeitung und Annotation historischer Texte mittels Graph-Datenbanken am Beispiel der Chronik des Matthias von Edessa. In: Konferenzabstracts der DHd. pp. 176–178, 2016.

[Ku16] Kuczera, Andreas: Digital Editions beyond XML – Graph-based Digital Editions. In (Düring, Marten; Jatowt, Adam; Preiser-Kappeller, Johannes; van Den Bosch, Antal, eds): Proceedings of the 3rd HistoInformatics Workshop at the DH. pp. 37–46, 2016.

[Le14] Lee, David: NoXML: Extending the relevance of XPath by breaking the chains of the DOM. In: Proceedings of Balisage: The Markup Conference 2014. volume 13 of Balisage Series on Markup Technologies, pp. 157–167, 2014.

[Mc13] McCarty, Willard: The essential contradiction. In: 6th International Conference Innovative Information Technologies for Science, Business and Education (IIT). p. 12p, 2013.

[Ne15] Neumann, Arne: discoursegraphs: A graph-based merging tool and converter for multilayer annotated corpora. In (Megyesi, Beáta, ed.): Proceedings of the 20th NODALIDA. Linköping University Electronic Press, pp. 309–312, 2015.

[RMD96] Renear, Allen; Mylonas, Elli; Durand, David: Refining Our Notion of What Text Really Is: The Problem of Overlapping Hierarchies. 4, p. 263–280, Sep 1996.

[Sc10] Schmidt, Desmond: The inadequacy of embedded markup for cultural heritage texts. Literary and Linguistic Computing (LLC), 25(3):337–356, Apr 2010.

[SW09] Smith, D. Neel; Weaver, Gabriel A.: Applying Domain Knowledge from Structured Citation Formats to Text and Data Mining: Examples Using the CITE Architecture. Report TR2009-649, Department of Computer Science - Dartmouth College, 2009.

[TE16] TEI Consortium, ed. TEI P5: Guidelines for Electronic Text Encoding and Interchange. Version 3.0.0. Text Encoding Initiative, März 2016.

[Tu06] Tummarello, Giovanni; Morbidoni, Christian; Kepler, Fabio Natanael; Piazza, Francesco; Puliti, Paolo: A novel Textual Encoding paradigm based on Semantic Web tools and semantics. In: Proceedings of the 5th LREC. pp. 247–252, 2006.

[ZR10] Zipser, Florian; Romary, Laurent: A model oriented approach to the mapping of annotation formats using standards. In: Proceedings of the LREC Workshop on Language Resource and Language Technology Standards. pp. 7–18, 2010.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 1167

Krümelmonsters Kochbuch – einige Gedanken zur domänenspezifischen Edition von Gebrauchstexten

Norbert Luttenberger[1], Jesper Zedlitz[2] und Torsten Knauf[3]

Abstract: In diesem Paper diskutieren wir den Begriff der "domänenspezifischen Edition", d.h. einer Edition, die dem spezifischen Inhalt und nicht der äußeren Form des historischen Texts gerecht wird. Diese Art der digitalen Edition scheint uns insbesondere für Gebrauchstexte angemessen zu sein. Um unser Anliegen zu verdeutlichen, stellen wir es anhand der domänenspezifischen Edition eines historischen Kochbuchs dar. Unser Paper entwickelt schließlich ein Schichtenmodell, in dem die Vorgehensweise bei der domänenspezifischen Edition zusammengefasst wird.

Keywords: Digitale Edition, domänenspezifische Edition, TEI, Kochbuch, Editionsrichtlinie, Culinary Editions Markup Language

1 Einleitung

Henriette Davidis' "Praktisches Kochbuch für die gewöhnliche und feinere Küche" aus dem Jahr 1848 ist nicht irgendein Kochbuch: Die Autorin Henriette Davidis (1801-1876), Pfarrerstochter aus Wengern an der Ruhr (heute Wetter) gilt "als berühmteste Köchin und Kochbuchautorin Deutschlands. Sie hat die deutsche Kochkultur entscheidend geprägt, sie ist Schöpferin der 'deutschen Küche'." [DM09] Wäre es nicht verdienstvoll, ihr Kochbuch einzuscannen, abzutippen und schließlich der interessierten Öffentlichkeit in Form einer digitalen Edition zur Verfügung zu stellen?

Bevor (digital) ediert wird, soll man lesen, was man edieren will. Im Kochbuch von Henriette Davidis zu lesen, ist *hard stuff*! Und das liegt nicht nur an der Frakturschrift. Das liegt vor allem daran, dass man früher Rezepte anders aufgeschrieben hat als heute. Der in Abb. 1 gezeigte Auszug belegt es: Angaben zu den zu verwendenden Zutaten, die Zubereitungsanleitung und die Angabe der Zubereitungszeit sind alle in einem Absatz miteinander vermischt. Weitere Aussagen, die wir heute in einem Rezept erwarten, fehlen ganz.

Für uns heutige ist "Rezept" eine wohldefinierte Textsorte, für deren Makrostruktur wir leicht ein informelles konzeptuelles Modell von nicht allzu hoher Komplexität angeben können: Die Textsorte "Rezept" besteht aus mindestens zwei Teilen, nämlich der Zutatenliste und der Zubereitungsanleitung. Die Zutatenliste kommt mit einem optionalen Hinweis zur Ergiebigkeit ("für 4 Personen"). Etwas aufwendiger gestaltete Rezepte

[1] Christian-Albrechts-Universität, AG Kommunikationssysteme, Christian-Albrechts-Platz 4, 24118 Kiel, n.luttenberger@email.uni-kiel.de
[2] Adresse s.o., j.zedlitz@email.uni-kiel.de
[3] Adresse s.o., torsten.knauf@gmx.de

doi:10.18420/in2017_118

kommen mit noch weiteren optionalen Teilen daher: Einleitungstext, Hinweisen zu Vorbereitungs- und Zubereitungszeit, Empfehlungen für Beilagen und Wein, Nährwertangaben, Hinweise auf ähnliche Rezepte oder sogar das "Originalrezept" usw. Wir heutigen haben damit also ein informelles Modell für die Textsorte "Rezept" im Hinterkopf, und wir erwarten beim Lesen eines Rezepts nichts anderes, als dass der gelesene Text unserer Modellvorstellung im Wesentlichen entspricht.



25. Suppe von jungen Gemüsen.

Man läßt in einem Stich Butter Mehl anziehn, gibt so viel Bouillon oder Wasser, als man Suppe haben will und Salz hinzu, und läßt folgende junge Gemüse, klein geschnitten, darin gahr kochen. Wurzeln, Kopfsalat, Spinat, Sauerampfer, Portulac und junge Erbsen. Dann wird die Suppe mit fein gehackter Petersilie und Eidottern abgerührt und in Butter geröstetes Weißbrod dabei gegeben.

Zum Kochen dieser Suppe sind 1½ Stunden hinreichend.

Abb. 1: Ein Rezept in Originaldarstellung

Zusammengefasst: Wenn man ein Gericht aus dem Kochbuch der Henriette Davidis nachkochen will, dann man muss man es erst umschreiben oder doch mindestens eine Zutatenliste aus dem Originalrezept extrahieren. Der Text in Abb. 1 ist für uns heutige kein "Gebrauchstext" im engeren Sinne des Wortes, er ist nicht zu gebrauchen.

Wir haben schnell herausgefunden, dass beim Deutschen Textarchiv (DTA) der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften bereits eine digitale Edition des Kochbuchs der Henriette Davidis vorliegt, nämlich in Form einer "TEI-codierten Fassung" [DT17]. (Eine "Nur-Text"-Transkription findet man auch beim Projekt Gutenberg [PG17].) Sollte die Editionsarbeit also schon erledigt sein?

In diesem Paper wollen wir in Abgrenzung zur DTA-Transkription/Edition zeigen, wie eine domänenspezifischen digitale Edition eines historischen Kochbuchs erfolgen kann. Unter einer domänenspezifischen Edition verstehen wir eine Edition, die dem spezifischen Inhalt und nicht der äußeren Form des historischen Texts gerecht wird. Damit soll die Edition auch solche Transformationen des historischen Texts ermöglichen, die den historischen Text an heutige Modellvorstellungen der jeweiligen Textsorte anpasst. Zusätzlich wollen wir zeigen, wie die digitale Edition dieses Kochbuchs eine externe Datenquelle angeschlossen werden kann, aus der sich Nährwertangaben extrahieren lassen. Damit kann unser Kochbuch z.B. auch als Objekt für ernährungswissenschaftliche Studien dienen. (Wir haben uns durch den Beitrag [Ah11] zu diesem Vorgehen inspirieren lassen.)

Wir beziehen uns bei unserer Analyse durchgängig auf das genannte Kochbuch, hoffen aber doch, dass sich unsere Analysen auch auf andere Gebrauchstexte einfach übertragen lassen. Anders ausgedrückt: Dieses Paper kann auch als ein Beispiel für die Erstellung von Editionsrichtlinien für Gebrauchstexte gelesen werden.

2 Transkription und Typographie: ein spannungsvolles Verhältnis

Der Charme beim Lesen und Studieren von Gebrauchstexten (wie es neben Kochbüchern z.B. auch Gebrauchsanweisungen, Verbotstafeln, Gesetzestexte usw. sind) liegt sicherlich darin, dass sie uns Heutigen etwas die Lebensumstände vergangener Zeiten mitteilen. Im ersten Moment wundern wir uns über Orthographie und Stil dieser Texte, aber dann wundern wir uns genauso über das, was da beschrieben wird. Bei historischen Kochbüchern z.B. trifft man auf Zutaten, die wir heute anders bezeichnen: Was z.B. sind "Scorzoner"?

Das Deutsche Textarchiv (DTA) hat das Kochbuch "manuell durch Nicht-Muttersprachler im *Double Keying*-Verfahren erfass[en lassen]" [DT17]. Vom DTA wurde dann der transkribierte Text mit TEI *tags* angereichert. TEI bedeutet *Text Encoding Initiative*, und diese Initiative hat *Guidelines* zur Codierung von Texten vorgelegt, die aktuell insgesamt 1853 Seiten umfassen [TE16]. Es geht um eine Sammlung von XML *tags*, mit denen man Texte unterschiedlicher Art auszeichnen kann. Dadurch werden die Texte zu strukturierten Texten, und diese können maschinell verarbeitet werden. Wir begreifen die Auszeichnung mit TEI *tags* als eine wichtige Vorbedingung für jede Art von Text-Transformationen.

In der DTA-Transkription/Edition unseres Kochbuchs erscheint das Rezept für die "Suppe von jungen Gemüsen" (Abb. 2) (wie alle anderen Rezepte auch) als *textual (sub)division* und wird entsprechend, wie leicht zu erkennen ist, in `<div>` *tags* eingeschlossen. Die Verwendung des `<div>` *tag* folgt einem Vorschlag der TEI P5 Guidelines (S. 158).

```
<div n="3">
  <head>25. Suppe von jungen Gemü&#x017F;en.</head>
  <lb/>
  <p>Man läßt in einem Stich Butter Mehl anziehn, gibt &#x017F;o viel<lb/>
    Bouillon oder Wa&#x017F;&#x017F;er, als man Suppe haben will und Salz<lb/>
    hinzu, und läßt folgende junge Gemü&#x017F;e, klein ge&#x017F;chnitten,
    darin<lb/> gahr kochen. Wurzeln, Kopf&#x017F;alat, Spinat, Sauerampfer,
    Por-<lb/> tulac und junge Erb&#x017F;en. Dann wird die Suppe mit fein ge-<lb/>
    hackter Peter&#x017F;ilie und Eidottern abgerührt und in Butter ge-<lb/>
    rö&#x017F;tetes Weißbrod dabei gegeben.</p> <lb/>
  <p>Zum Kochen die&#x017F;er Suppe &#x017F;ind 1½ Stunden hinreichend.</p>
</div>
<lb/>
```

Abb. 2: TEI-Auszeichnung durch das DTA

Allerdings wird in der DTA-Edition unseres Rezeptbuchs das in den Guidelines vorgeschlagene Attribut `type` trotz Empfehlung nicht verwendet, und dies, obwohl in den Guidelines sogar ein Beispiel angeführt wird, in dem eine *textual division* mit einem Attribut `type="recipe"` versehen ist (S. 1021). Ein solches Attribut würde es sehr einfach machen, alle Rezepte aus der digitalen Edition zu extrahieren. Statt eines `type`-Attributs enthält das `<div>`-Element ein Attribut `n`; dieses werden wir später kommentieren.

Unser Beispielrezept wird in ein <head>- und in zwei <p>-Elemente zerlegt. Sehr problematisch ist die Tatsache, dass beim *encoding* die Nummerierung der Überschrift ("25.") mit in den Text des <head>-Elements übernommen wurde. Will man die Überschriftentexte untersuchen oder das Kochbuch neu zusammenstellen, muss man diese Zahlenangabe mit einigem Aufwand aus dem Überschriftentext "herausoperieren". Als Attribut zum -Element wäre sie dagegen sehr sinnvoll gewesen.

Im <head>-Element und in den beiden <p>-Elementen fallen sofort die ſ *entities* auf, die dort zahlreich vertreten sind. Dabei geht es um das "lange s", die in der Frakturschrift verwendete Darstellungsweise für den Buchstaben "s". Ist ein relevanter Forschungsansatz vorstellbar, der aus der Tatsache des Auftretens des langen s irgendwelche Erkenntnisse ableiten kann? Man kann und soll erwähnen, dass unser Kochbuch in Frakturschrift gedruckt ist. Aber man muss doch nicht jedes lange s als solches codieren! Denn gegen eine solche Codierung sprechen gleich mehrere Einwände:

- Die Verwendung des langen s behindert die elektronische Suche im Text erheblich; das Wort "Gemüſe" ist nicht ohne Weiteres durch Eingabe des Strings "Gemüse" auffindbar.
- In der Frakturschrift unterscheiden sich das lange s und das f optisch nur sehr wenig voneinander. Das erschwert das Lesen der Transkription erheblich. Auch die Nicht-Muttersprachler sind beim Transkribieren in diese Falle hineingetappt: Im Rezept 10 ("Farce von Mandeln") wird eine der Zutaten wie folgt bezeichnet: "eine Obertaſſe voll Mandeln fein geftoßen". Mahlzeit!
- Wenn denn trotz aller Einwände glaubt, eine Typographie-orientierte Auszeichnung sei nützlich und notwendig, dann muss man sie konsequent durchführen. Wie verhält es sich z.B. mit dem Trennzeichen? Wir sehen im Scan, dass damals der Doppelbindestrich als Trennzeichen verwendet wurde. In unserem *encoding* finden wir aber den einfachen Trennstrich (und zusätzlich ein <lb/>-Element ("line break"); mehr dazu s.u.). Und: Wie verhält es sich mit Ligaturen? Im Original wird die "gehackte Petersilie" nicht mit ck geschrieben, sondern mit einer ck-Ligatur.

Es ist zu vermuten, dass die Vorgehensweise, einen Scan "manuell durch Nicht-Muttersprachler" transkribieren zu lassen, zu diesem Problem geführt hat. Der Nicht-Muttersprachler kann nur schwer entscheiden, ob im Deutschen das gewöhnliche ("runde") s eine vom langen s verschiedene Bedeutung hat. Der transkribierende Nicht-Muttersprachler wird also lieber das lange s codiert haben, als ein Problem zu kriegen. Zum Glück kann man das lange s schnell global durch das übliche runde s ersetzen. Ein Problem gelöst.

Im codierten Text werden alle Zeilenbrüche durch ein <lb/>-Element markiert (s.o.). Auch hier fragt man sich: Gibt es einen Forschungsansatz, der aus dem Zeilenbruch zwischen "so viel" und "Bouillon" eine Erkenntnis ableiten kann? Es handelt sich hier doch nicht um ein Gedicht – da könnten Zeilenbrüche und Silbentrennungen sinntragend sein. Zum Glück kann man das <lb/>-Element schnell global durch ein Leerzeichen ersetzen.

Damit ist aber das Problem der Zeilenbruch-Codierung jedoch noch nicht gelöst. Zeilenbrüche können ja auch mit einer Silbentrennung verbunden sein. In der DTA-Transkription/Edition hat man sich aus unbekannten Gründen dazu entschieden, eine Silbentrennung durch die Folge: <Hyphen><lb\><SP> zu codieren, wobei wir hier das Leerzeichen der besseren Lesbarkeit wegen durch <SP> darstellen. Man könnte denken, man könnte diese Zeichenfolge ohne Schaden komplett entfernen: Aus " Por<Hyphen><lb/><SP>tulac" würde zwar "Portulac" werden, aber leider ist die Sache nicht so einfach.

Da hier wie auch in unserer üblichen Schreibung leider nicht zwischen einem Trennstrich und einem Bindestrich unterschieden wird, ergibt sich folgende Schwierigkeit: Man stelle sich vor, die Wortfolge "Blumen- oder Spitzkohl" würde durch einen Zeilenbruch wie folgt in zwei Teile geteilt: "Blumen<hyphen><lb/><SP>oder Spitzkohl". Das komplette Entfernen der Zeichenkette <hyphen><lb/><SP> würde hier zu einem fehlerhaften Ergebnis führen, nämlich "Blumenoder Spitzkohl". Die richtige Ersetzung kann man nur durch Analyse des Kontexts herausfinden. Und das bedeutet: Handarbeit! Abb. 3 zeigt eine Edition, wie wir sie uns als Input zur Weiterverarbeitung vorstellen: Die Textstruktur ist erkennbar, typographisches Chichi ist entfernt (Wie man Zeilenbrüche korrekt codieren kann, wird in den "Edition-specific TEI encoding guidelines Nachwuchsgruppe Berliner Intellektuelle 1800 – 1830" gezeigt. [BI17])

```
<div4 type="recipe">
    <head>Suppe von jungen Gemüsen.</head>
    <p>Man läßt in einem Stich Butter Mehl anziehn, gibt so viel Bouillon oder Wasser, als man Suppe
        haben will und Salz hinzu, und läßt folgende junge Gemüse, klein geschnitten, darin gahr kochen.
        Wurzeln, Kopfsalat, Spinat, Sauerampfer, Portulac und junge Erbsen. Dann wird die Suppe mit fein
        gehackter Petersilie und Eidottern abgerührt und in Butter geröstetes Weißbrod dabei
        gegeben.</p>
    <p>Zum Kochen dieser Suppe sind 1½ Stunden hinreichend.</p>
</div4>
```

Abb. 3: Nach Eliminierung typographischer Auszeichnungen

3 Transkription und Text-Makrostruktur

Das Kochbuch der Henriette Davidis enthält mehr als 1.200 Rezepte! Um aus dem Kochbuch all diese Rezepte extrahieren zu können (um dann aus den Rezepten ihre Zutaten extrahieren zu können), müssen wir nun das Kochbuch der Henriette Davidis auf der Makrostruktur-Ebene genauer betrachten: Wir wollen wissen, an welchen *tags* bzw. an welcher Folge von *tags* wir erkennen können, dass es sich bei einem bestimmten Textfragment um ein Rezept (oder einen Teil davon) handelt. Anders formuliert: Wir wollen untersuchen, wie die DTA- Edition die Struktur des Kochbuchs mit Hilfe von TEI *tags* kenntlich gemacht hat.

Schon vorab lässt sich so viel sagen: Beim digitalen Edieren eines Texts kann man die erkennbaren Strukturelemente dieses Textes (Kapitel, Unterkapitel, Absätze, Überschriften usw.) so mit TEI *tags* ausstatten, "wie sie gerade kommen", oder man kann ein Strukturmodell für den Text entwerfen und in dieses dann die vorhandenen Strukturelemente "geeignet" einpassen. Hat man im letztgenannten Sinn ein Textmodell z.B. so gebaut, dass zu jedem Rezept eine Überschrift gehören muss, findet nun aber im tatsächlichen Kochbuch ein Rezept ohne Überschrift, dann wird man in der Edition die ausgelassene Überschrift durch ein leeres TEI-Element kenntlich machen müssen. Wir werden versuchen zu zeigen, dass der modellhafte Ansatz geeignet ist, die maschinelle Verarbeitung erheblich zu vereinfachen.

Das Kochbuch der Henriette Davidis lässt sich wie üblich in einen Vorspann, einen Hauptteil und einen Abspann einteilen. Wir erwarten die Rezepte im Hauptteil. Der Hauptteil zerfällt in eine Folge von Kapiteln ("Fleischgerichte", "Fischgerichte", "Suppen", "Süßspeisen" usw.). Wir wissen schon vorab, dass wir einige dieser Kapitel ausblenden müssen, da sie keine Rezepte, sondern allgemeine Hinweise zum Einkauf, zur Zubereitung und zur Lagerung von Zutaten enthalten. Einige dieser Kapitel sind in Unterkapitel eingeteilt. (Zum Kapitel "Fischgerichte" gehören z.B. die Unterkapitel "Seefische" und "Flussfische".) Damit wird ersichtlich, dass Rezepte sowohl in Kapiteln als auch in Unterkapiteln auftauchen können: Unser Kochbuch hat keine einheitliche Makrostruktur.

Als Kern einer praktischen Vorgehensweise zur Extraktion der Rezepte aus dem TEI-kodierten Kochbuch stellen wir uns einen XPath-Ausdruck vor, der alle Rezepte auswählt. Dieser XPath-Ausdruck scheint zunächst einfach zu konstruieren: Bei TEI wird innerhalb des *first-level* Elements `<text>` der Vorspann mit dem *tag* `<front>`, der Hauptteil mit dem *tag* `<body>` und der Abspann mit dem *tag* `<back>` ausgezeichnet. Der Hauptteil ist in Kapitel eingeteilt, diese enthalten ggf. Unterkapitel, und sowohl Kapitel als auch Unterkapitel sind in `<div>` *tags* eingeschlossen.

In der DTA-Edition tragen diese `<div>`-Elemente ein Attribut `n`, dessen Wert die Hierarchie-Ebene (Kapitel bzw. Unterkapitel) anzeigt. Zum einen ist diese Nutzung des Attributs `n` so nicht von den TEI P5 Guidelines vorgesehen. Hätte man sich an die Guidelines gehalten, dann hat man für diese Auszeichnung nicht das *tag* `<div>` verwendet, sondern das *tag* `<div3>` bzw. `<div4>`.

Uns stört, dass diese Vorgehensweise impliziert, dass man die uneinheitliche Makrostruktur des Kochbuchs der Henriette Davidis in digitale Edition schlicht so übernommen hat, wie man sie vorfindet. Wäre es nicht sinnvoller gewesen, von einer Dokumentenstruktur auszugehen, in der alle Rezepte in Unterkapiteln stehen? Von der Codierung her wäre das einfach gewesen: Man hätte nur die Verschachtelung der `<div>`-Elemente konsequent durchführen müssen. Dieses hätte den Vorteil gehabt, dass wir nicht einen sehr holprigen und fehleranfälligen XPath-Ausdruck hätten entwickeln müssen …

Wenn man dagegenhält, dass es ein dringendes Editionserfordernis ist, die Struktur des Originals in der digitalen Edition zu bewahren, hätte man den `<div>`-Elementen, die ein

Rezept einschließen, ein Attribut `type="recipe"` hinzufügen können. Damit hätte man einen leicht fasslichen XPath-Ausdruck schreiben können. Die Angabe der Hierarchie-Ebene im `<div>`-Element dagegen ist nicht zielführend, im Gegenteil: Sie ist schlicht und ergreifend redundant, man kann sie durch Betrachten des XML-Dokuments "abzählen".

Unsere Quintessenz: Digitale Edition ist mehr als das Einstreuen von TEI *tags* zur Kenntlichmachung von Strukturelementen des Originals. Wir haben bei unserer Bearbeitung die TEI *tags* so gewählt und gesetzt, dass sie die Weiterverarbeitung und damit die intendierte Nutzung des edierten Texts unterstützen und nicht erschweren.

4 Digitale Edition und die *features of interest*

Bis jetzt haben wir nur *preprocessing* betrieben, aber nun können wir uns daranmachen, den Text auszuzeichnen, um unsere *features of interest* durch Einfügen spezieller *tags* hervorzuheben und damit der maschinellen Verarbeitung zugänglich zu machen. Was sich ja bei mehr als 1.200 Rezepten sicherlich lohnt.

Unser spezielles Interesse richtet sich auf die kulinarischen Details aller Rezepte: Uns interessieren Zutaten und Zubereitung der jeweiligen Speisen und alle zugehörigen Angaben. Wir wollen eine Auszeichnung angeben, die es ermöglicht, aus dem vorhandenen Quelltext durch eine Transformation ein Rezept mit einer Struktur zu erzeugen, in der mindestens die Zutatenliste vom Text separiert ist. Und zusätzlich wollen wir auf Informationen zu den Nährwerten der Zutaten verweisen können.

Für die Auszeichnung der Zutaten brauchen wir einige "kulinarische *tags*". Da diese im TEI-Vokabular nicht vorgesehen sind, haben wir das TEI-Vokabular (in Form einer sog. "TEI *customization*") geeignet erweitert. Als Resultat haben wir eine Auszeichnungssprache für kulinarische Editionen erhalten: die *culinary editions Markup Language* (cueML, auf Deutsch einfach wie "Kümmel" auszusprechen). Aus Platzgründen beschränken wir uns in diesem Beitrag auf die Auszeichnung der Zutaten; zu einer vollständigen kulinarischen Edition würde auch die Auszeichnung der Zubereitungsanweisungen, der Ergiebigkeit des Rezepts, der Weinempfehlungen, der Quellenangaben usw. gehören.

Wir gehen von einem verallgemeinerten Ansatz aus:

- Die *tag names* für Rezept und Zutaten usw. übernehmen wir aus den *properties* des schema.org `type recipe`. Wir gehen davon aus, dass diese Wahl die Entwicklung eines Transformationsskripts erleichtert, mit dem sich die Rezepte der Henriette Davidis in eine Form bringen lassen, die für die Publikation im *Semantic Web* geeignet ist [SO17].
- Die gewünschten tags schließen Fragmente des Originaltexts ein, ähnlich wie es das von HTML her bekannte `<span>` *tag* macht. Die von uns gewählte Vorgehensweise entspricht damit der semantischen Auszeichnung mit schema.org.

```
<recipe>
        <head>Suppe von jungen Gemüsen.</head>
        <p>Man läßt in
          <recipeIngredient>einem Stich Butter</recipeIngredient>
          <recipeIngredient>Mehl</recipeIngredient> anziehn, gibt so viel
          <recipeIngredient>Bouillon</recipeIngredient> oder Wasser,
          als man Suppe haben will, und
          <recipeIngredient>Salz</recipeIngredient> hinzu, und läßt folgende junge Gemüse,
          klein geschnitten, darin gahr kochen.
          <recipeIngredient>Wurzeln</recipeIngredient>,
          <recipeIngredient>Kopfsalat</recipeIngredient>,
          <recipeIngredient>Spinat</recipeIngredient>,
          <recipeIngredient>Sauerampfer</recipeIngredient>,
          <recipeIngredient>Portulac</recipeIngredient> und
          <recipeIngredient>junge Erbsen</recipeIngredient>.
          Dann wird die Suppe mit fein gehackter
          <recipeIngredient>Petersilie</recipeIngredient> und
          <recipeIngredient>Eidottern</recipeIngredient> abgerührt und in
          <recipeIngredient>Butter</recipeIngredient>
          <recipeIngredient>geröstetes Weißbrod</recipeIngredient>
          dabei gegeben.</p>
        <p>Zum Kochen dieser Suppe sind 1½ Stunden hinreichend.</p>
</recipe>
```

Abb. 4: Rezept mit kulinarischen *tags*

Diese Lösung haben wir noch wie folgt verbessert:

1. Das schema.org *tag* `<recipeIngredient>` schließt sowohl die Angabe für die Menge als auch für die Art der Zutat ein. Diese beiden Angaben haben wir voneinander separiert. Dazu haben wir dem cueML *tag* `<recipeIngredient>` eine Menge von Attributen hinzugefügt, die eine Messung beschreiben, nämlich die TEI-Attributmenge `att.measurement`. Leider gibt es nicht in allen Rezepten präzise Mengenangaben – ja, oft nicht einmal eine Angabe, für wie viele Esser ein Rezept gedacht ist.
2. Es gibt dagegen oftmals unpräzise Mengenangaben wie z.B. "ein Stich Butter". Für eine geübte Köchin ist zwar klar, was damit gemeint ist, aber diese Mengenangabe ist für präzisere Analysen ungeeignet. Wir haben die Wahl: Wir können die heute nicht geläufigen Mengenangaben schon bei der Transkription in eindeutig definierte Mengenangaben umschreiben, oder wir können diese Umschreibung einem nachfolgenden Bearbeitungsschritt überlassen. Wir haben uns für den zweiten Weg entschieden und werden deshalb dieses Problem im Weiteren nicht mehr diskutieren.
3. Unschön ist auch, dass in unserer Zutatenliste eine Angabe im Dativ erscheint: "einem Stich Butter". Hier macht sich der Dativ zwar nur bei der Mengenangabe

bemerkbar, aber selbstverständlich kann man sich auch eine in das Rezept eingestreute Zutatenangabe vorstellen, in der auch die Art der Zutat in gebeugter Form angeführt wird. In den Attributen, die wir den cueML *tags* hinzufügen, verwenden wir nur die Grundformen des jeweiligen Worts, d.h. das Lemma.

5 NLP für die Extraktion der Zutatenangaben

Bei ca. 1200 Rezepten ist die manuelle Auszeichnung der in den Texten enthaltenen Angaben zu den Rezeptzutaten sehr langwierig und fehleranfällig. Wir haben deshalb verschiedene Verfahren für die automatische Begriffsextraktion untersucht. Dabei hat sich die Kombination aus einem Wörterbuch- und einem Regel-basierten Ansatz als die einfachste und beste Lösung herausgestellt. (Ein anderer Ansatz wird z.B. in [Gr15] diskutiert, während [Ze09], [WRK12] vergleichbare Ansätze, allerdings mit anderen Zielsetzungen beschreiben.)

Wir beschreiben hier die wesentlichen Schritte nur kurz.

1. Wörterbücher

Wir gehen davon aus, dass alle Wörter, die die von uns gesuchten *entities* bezeichnen, in einem entsprechenden Wörterbuch gespeichert sind. Da wir uns auf die Koch-Domäne beschränken, können wir davon ausgehen, dass es z.B. Wörterbücher gibt, die alle Zutaten enthalten, alle Mengenangaben und alle Mengeneinheiten. Um diese Wörterbücher möglichst klein zu halten, werden nur Lemmata gespeichert.

Das Wörterbuch für Mengeneinheiten haben wir manuell erstellt. Es enthält z.B. "Pfund" und "Maß". Für die Mengenangaben verwenden wir kein echtes Wörterbuch, sondern eine Funktion. Diese bekommt als Argument ein Lemma und erkennt in folgenden Fällen eine Mengenangabe: [Das Lemma ist eine Zahl. | Das Lemma hat die Form Zahl-Zahl. | Das Lemma ist in einer Menge von vordefinierten Mengen-Wörtern (ein, eine, einige, ...).]

Auch das Wörterbuch für die Zutaten haben wir manuell erstellt. Wir haben uns zunächst eine Liste aller im Kochbuch auftauchenden Nomen verschafft und dann diese Liste um alle Wörter bereinigt, die keine Zutaten bezeichnen. Auf diese Weise ist ein Wörterbuch mit 1069 Einträgen entstanden, wobei zu berücksichtigen ist, dass wir gleiche Zutaten mehrfach gezählt haben, wenn sie in unterschiedlicher Schreibung (z.B. zusammengesetzte Wörter mit oder ohne Bindestrich) auftauchen. Die Zutat "Butter" taucht im Kochbuch 817mal auf, während 508 Zutaten insgesamt nur einmal auftauchen.

Bei der Erstellung des Zutaten-Wörterbuchs hatten wir mit dem Problem umzugehen, dass Henriette Davidis oftmals ihre Rezeptzutaten nur sehr allgemein spezifiziert: Z.B. findet sich oft die Zutatenangaben "Fleisch", und nur aus dem Kontext wird ersichtlich, welche Art Fleisch gemeint ist. Bei einer Rindfleischsuppe zum Beispiel ist mit Fleisch ziemlich sicher Rindkochfleisch gemeint, aber in anderen Rezepten ist mit "Fleisch" ggf. auch Schweine- oder Hühnerfleisch gemeint. Um mit Hilfe unseres Zutaten-Wörterbuchs auch

"Fleisch" als Zutat extrahieren zu können, fügen wir dem Wörterbuch auch solche allgemeinen Bezeichnungen hinzu. Wir hinterlegen dem Eintrag für "Fleisch" zusätzlich eine Liste von Identifikatoren für andere Wörterbuch-Einträge, in denen das Wort Fleisch vorkommt. Bei der Regel-basierten Weiterverarbeitung (s.u.) kann dann aus der Liste der Identifikatoren ggf. eine einziger herausgegriffen werden, der die Zutat genau bestimmt.

2. Lemmatisierung

Wie bereits dargestellt, arbeiten wir nur mit den Lemmata der Zutatenbezeichnungen. Wir überlassen die Lemmatisierung einem *Part-of-Speech* (PoS) *tagger*, in unserem Fall dem TreeTagger [TT17]. Der TreeTagger gibt neben dem PoS *tag* auch das Lemma zu jedem Wort aus. Beim *tagging* wird auch die Überschrift eines Rezeptes als normaler Satz gesehen, da manchmal eine Zutat nur in der Überschrift erwähnt wird. Die Sätze splitten wir anhand von Satzzeichen. Um Punkte, die nach Abkürzungen stehen, nicht fälschlicherweise als Satzendezeichen zu interpretieren, haben wir eine Menge von Abkürzungen definiert, so dass eine Zerteilung in zwei Sätze rückgängig gemacht werden kann. Um zu vermeiden, dass beispielsweise "abgebrüht" als Zutat extrahiert wird, weil es das Teilwort "brühe" enthält, schlägt die Zutatenextraktion bei klein geschrieben Wörtern immer fehl. Manchmal kann der TreeTagger kein Lemma finden, z.B. bei der Formulierung "Sellerie- und Scorzonerwurzeln". In einem solchen Fall betrachten wir zunächst die Wort-Identität als Lemma. Anschließend versuchen wir bei jedem abgekürzten Wort die Endung zu finden. Abgekürzte Wörter haben das PoS *tag* TRUNC für *truncation*. Da alle abgekürzten Wörter, an denen wir interessiert sind, Nomen sind, suchen wir das nächste Nomen im Satz, welches eine typisch abgekürzte Endung hat. In unserem Beispiel ist "wurzel" eine solche Endung. In diesem Fall wird in dem abgekürzten Lemma der Bindestrich durch die entsprechende Endung ersetzt.

3. Regel-basierte Verarbeitung (Beispiele)

Eine Regel versucht, zu jedem Wort, das eine Zutat bezeichnet, die zugehörige Mengenangabe (Zahl und Einheit) zu finden. Die Regel sucht dafür nach links, bis sie auf eine Mengenangabe trifft, und fügt diese der Zutat hinzu. Um zu verhindern, dass bei dem Satz "Man nehme 2 EL Mehl und Butter" auch "2 EL Butter" extrahiert wird, bricht diese Regel ab, wenn vor einer Mengenangabe eine andere Zutat gefunden wird.

Wenn das Lemma zu einer Zutat "Wein" enthält, sucht eine andere Regel nach den Wörtern "rot" oder "weiß". Wird eins von beiden gefunden, so wird die Zutat über den im Zutaten-Wörterbuch enthaltenen Identifikator bezeichnet, der ebenfalls auf die entsprechende Weinsorte verweist.

Ist als Zutat "Fleisch" angegeben, handelt es sich um ein Rezept für "Suppen" und ist "Rind" im Namen des Rezeptes enthalten, so wird die Zutat über den im Zutaten-Wörterbuch enthaltenen Identifikator für "Rindkochfleisch" bezeichnet.

Folgen auf eine Zutatenangabe die Lemmata "können" und "wegbleiben", so wird diese Zutat als optional ausgezeichnet.

4. Anschluss an den BLS

Im Sinne des *Semantic Web* sehen wir Zutaten und Mengeneinheiten als "Ressourcen", die per URI identifiziert werden. Als Basis eines solchen Ressourcenbestands sehen wir den vom Max-Rubner-Institut lizensierten Bundeslebensmittelschlüssel (BLS) [MR17]. Der BLS enthält zu ca. 14.000 Zutaten je 38 spezifische Nährwert-Informationen. In unserer Edition wird jede Zutat über ein `BLSref`-Attribut mit dem BLS verbunden. □

Eine Stichprobe von ca. 500 Zutaten haben wir manuell ausgezeichnet, und auf dieser Basis haben wir *precision* und *recall* für unseren NLP-Ansatz ermittelt. Die unten widergegebene Tabelle zeigt die Ergebnisse.

	Recall	Precision
nur Zutaten	99,23%	98,10%
Zutaten mit Mengenangaben und Einheiten	85,71%	83,18%
optionale und alternative Zutaten	71,81%	72,01%

6 Statt einer Zusammenfassung: Ein Schichtenmodell für die Edition von historischen Gebrauchstexten

Wir haben ein umfangreiches Methodenrepertoire gezeigt, mit dessen Hilfe sich ein einfach strukturierter Gebrauchstext in sein modernes, komplexer strukturiertes Pendant "übersetzen" lässt und wie sich dieser Gebrauchstext um Referenzen zu anderen Datenquellen erweitern lässt. Als Zusammenfassung nutzen wir ein Schichtenmodell, wie es z.B. aus der Beschreibung von Kommunikationsarchitekturen bekannt ist.

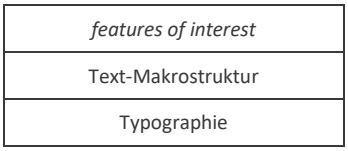


Abb. 5: Schichtenmodell

Wir schlagen ein dreischichtiges Modell (Abb. 5) vor: Auf der untersten Ebene eliminiert die domänenspezifische Auszeichnung die typographischen Details des Originals, die eine weitere Bearbeitung erschweren.

Auf der nächsthöheren Schicht ermöglicht die domänenspezifische Auszeichnung die Transformation des Originals in eine dem Untersuchungsinteresse angemessene Makrostruktur. Wir verweisen auf die Website "Digitale Edition zu Davidis' Kochbuch" [TK17], auf der sich der Leser überzeugen kann, dass eine solche Transformation möglich ist.

Wesentlich komplexer ist die Bearbeitung auf der obersten Schicht: Wir haben hier gezeigt, wie man mit Methoden des *Natural Language Processing* (NLP) Wörter und

Wortgruppen so aus dem Original extrahieren kann, dass die *features of interest* widergespiegelt werden. Dazu gehört unserer Ansicht nach auch die Herstellung eines Bezuges zwischen diesen Wörtern und Wortgruppen zu weiteren Informationsressourcen.

Bleibt zum Schluss also nur noch die Frage, wie wir zu unserem Aufsatztitel gekommen sind: Krümelmonsters Kochbuch. Wir wollten zeigen, dass die domänenspezifische Edition von Gebrauchstexten auch kleinen, "krümeligen" Aspekten große Aufmerksamkeit schenken muss, damit wir Heutigen uns den Gehalt dieser Texte erschließen können.

Literaturverzeichnis

[Ah11] Ahn, Yong-Yeol; Ahnert, Sebastian E.; Bagrow, James P.; Barabási, Albert-László: Flavor network and the principles of food pairing. nature.com, Scientific Reports, http://dx.doi.org/10.1038/srep00196, Stand 13.5.2017.

[BI17] Nachwuchsgruppe „Berliner Intellektuelle 1800-1830“, http://www.berliner-intellektuelle.eu/, Stand 13.5.2017.

[DM09] Henriette Davidis Museum, http://www.henriette-davidis-museum.de, Stand 13.5.2017.

[DT17] Deutsches Textarchiv, http://www.deutschestextarchiv.de/davidis_kochbuch_1849, Stand 13.05.2017

[Gr15] Greene, Erica: Extracting Structured Data From Recipes Using Conditional Random Fields. The New York Times. https://open.blogs.nytimes.com/2015/04/09/extracting-structured-data-from-recipes-using-conditional-random-fields/?_r=1. Stand 13.5.2017.

[MR17] Max-Rubner-Institut, Bundesforschungsinstitut für Ernährung und Lebensmittel, https://www.mri.bund.de/de/service/datenbanken/bundeslebensmittelschluessel/, Stand 13.5.2017.

[PG17] Projekt Gutenberg, http://gutenberg.spiegel.de/buch/henriette-davidis-praktisches-kochbuch-inhaltsangabe-4461/1, Stand 13.5.2017.

[SO17] schema.org, http://schema.org/Recipe, Stand 13.5.2017.

[TE16] Text Encoding Initiative, http://www.tei-c.org/Guidelines/, Stand 13.5.2017.

[TK17] Digitale Edition zu Davidis' Kochbuch, https://torsten89.github.io/MyMasterThesis/, Stand 13.5.2017.

[TT17] TreeTagger - a part-of-speech tagger for many languages, http://www.cis.uni-muenchen.de/~schmid/tools/TreeTagger/, Stand 13.5.2017.

[WRK12] Wiegand, Michael; Roth, Benjamin; Klakow, Dietrich: Data-driven Knowledge Extraction for the Food Domain". In: In Empirical Methods in Natural Language Processing, Proc. 11th Conference on Natural Language Processing, 2012, Wien (ÖGAI, 2012), 21-29.

[Ze09] Zeeshan, Ahmed: Domain Specific Information Extraction for Semantic Annotation. Diplomarbeit, Karls-Universität Prag, https://is.cuni.cz/webapps/zzp/detail/74742/, Stand 13.5.2017.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 1179

To GUI or not to GUI?

Nils Reiter[1], Jonas Kuhn[1], Marcus Willand[2]

Abstract: This paper focuses on the interface question: How do literary scholars interact with their texts? We discuss the pros and cons of different options and then describe the research workflow that we are employing in the projects CRETA and QuaDramA. We believe that DH projects too often take the need for graphical user interfaces for granted and want to establish that other options have their pragmatic and conceptual merit.

Keywords: Graphical User Interface, Literary Studies, Natural Language Processing, Reflected Text Analytics

1 Introduction

The decision on the concrete workflow that a DH project instantiates is typically made very early in a project. This has institutional reasons, as detailed workflows are a standard demand for funding applications. In many projects, those workflows involve one or more graphical user interfaces (GUI). These GUIs are often tailored to the specific needs and research data of the project and developed during the project run time. Our observation is that this is rarely questioned or consciously decided. In the projects QuaDramA and CRETA, we continuously evaluate various options in this regard and try to learn from past experiences.

The arguments in this article focus on the analytical use of digital methods in the humanities[3], in particular on the use of natural language processing (NLP) and literary texts. We therefore do not claim that what we present is ubiquitously applicable in the DH, although we believe some of the insights can be applied to other projects.

We will briefly introduce the two projects that we are using as exemplary cases here. Section 2 discusses the main arguments for and against graphical user interfaces. Sections 3 and 4 describe how the workflows in these projects are established, giving different examples on realizations of the arguments presented here. Section 5 concludes.

[1] Institut für Maschinelle Sprachverarbeitung, Universität Stuttgart, Pfaffenwaldring 5b, 70569 Stuttgart, nils.reiter@ims.uni-stuttgart.de, jonas.kuhn@ims.uni-stuttgart.de
[2] Institut für Literaturwissenschaft, Neuere Deutsche Literatur II, Universität Stuttgart, Keplerstraße 17, 70174 Stuttgart, marcus.willand@ilw.uni-stuttgart.de
[3] In contrast to, e.g., data preparation (OCR) or infrastructure development.

doi:10.18420/in2017_119

CRETA One of the research avenues in the Center for Reflected Text Analytics (CRETA)[4] is the analysis of relations between characters in narrative texts, in particular the middle high German Arthurian novel *Parzival* and Goethe's *Sorrows of the Young Werther*. As a basis, we are extracting co-occurrence networks from both texts. Extracting such networks from dramatic texts is technically straightforward [TFK15], the meaningfulness of such networks on narrative texts depends on the notion of co-occurrence and of its technical realization.

QuaDramA The goal of QuaDramA[5] – Quantitative Drama Analytics – is the large-scale quantitative analysis of German dramatic texts from 1740-1920. We are therefore aiming for the semantic analysis of a linguistically preprocessed corpus. Most importantly, the semantic analysis needs to be conducted not only on 'plain' text level: Many of the scholarly research questions are about dramatic figures and their speech. We need to be able to distinguish the text content of various figures, but – depending on the exact question – also aggregate figure from various dramatic texts, in order to investigate classes of figures like *fathers* or *kings*.

2 GUI: A not so Binary Decision

In addition to the general, methodological and theoretic challenges of typical DH projects [KR15], an important and re-appearing question is how to concretely organize the interaction between NLP methods and literary research questions. Arguably, this question is not primarily a technical one, but also touches organizational and methodological considerations. To discuss the technical aspects without taking organizational facts and methodological assumptions into account would be a mistake and could – with good reason – be judged as 'technology-driven'.

In our cases, the concrete questions are: How do literary scholars use and access the tools that NLP researchers develop and provide? What data formats do we use to exchange data? What kind of user interface will literary scholars use to investigate their questions?

We will, for the sake of brevity and clarity, distinguish two broad options: Developing a GUI or not. Many projects (as the ones discussed below) actually do both in different stages, or employ nuanced and mixed forms in between. In addition, developing a GUI entails a wide range of sub-sequential choices (that might have impact on the workflow within a project): Web-based or desktop, centralized or distributed data storage, based on external infrastructures or not, ... On the other hand, deciding against a graphical user interface leads to a lot of follow-up questions as well: What user interface do we use instead? How do literary scholars interact with the their data? What do they have to know?

[4] https://www.creta.uni-stuttgart.de/index.php/en/
[5] https://quadrama.github.io/index.en

2.1 Developing a GUI

The most obvious and often cited advantage of implementing a graphical user interface in the context of DH is that scholars without additional training are able to use it. GUIs thus lower the entry bar for participating in DH research and potentially allow more scholars to investigate their research questions empirically (or digitally, whatever that means). Depending on the research question(s), some projects might be aiming for communicating with pupils, the interested public (citizen science), to collect data or research perspectives. In these cases, a graphical user interface might also serve as a motivational tool.

However, while this argument is so appealing, it is not without pitfalls. Having a GUI does not free a scholar from knowing about the relevant basics of the machinery. In order to provide a literary interpretation that takes quantified findings into account *and* that would stand in the eyes of a critical reader, scholars *also* need to be able to explain why an edge in a network became thick or a word in a word cloud red – any why this matters. This requires a certain understanding of the machinery, which GUIs tend to hide away. In this respect, tools with a GUI risk being run as a 'black box', with little or no understanding of the underlying assumptions and internal workings. In extreme cases, this makes it very easy to fiddle with the parameters of a tool until the resulting plot fits with the expectation.

It is not a new insight that GUIs sometimes also lead to misinterpretations. In the context of DH, however, the danger becomes even greater, as the users of GUIs often have little experience in reading quantitative data, have usually no way of verifying independently what they see and are used to presume meaning on the subject of their interest: "The worst dangers [of data mining] may lie in the humanist's ability to interpret nearly any result, projecting his or her own biases into the outcome of an experiment[. . .]" [SP08, p. 409]. One might argue that GUIs should be designed in such a way that they do not invite wrong interpretations, that they are not misleading. This is certainly true, but the reality is that most DH projects do not have access to knowledge about creating GUIs, let alone any experience.

As research generally is a creative process, some of the most interesting research questions only develop over time. Relying on a GUI for every experiment or experimental setup increases the time lost between having an idea for an experiment and actually conducting the experiment. Parameterization of GUIs can mitigate this to a certain extent, but this only goes so far, as interesting questions and ideas are difficult if not impossible to anticipate.

2.2 Direct Data Access for Scholars

Obviously, the alternative to GUIs is not to have no interface at all. Some interface between scholars and their subject of interest is needed. What we advocate here is to expose scholars to the 'messiness' of working with the actual data, whatever form it might have. At first, this heightens the entry bar into DH research. Scholars need to learn about data formats, conversion between them, handling of large files or file collections, use of a statistical

analysis software, ... All this takes time and some investment, in particular at the beginning of a project. It also might entail the need for installing more software on more computers, which creates administrative overhead.

On the other side, scholars who are able to work with data directly (with tools that are already existing) are able to conduct experiments by themselves (within certain limits). This not only decreases the development time needed between idea and experiment, it also make scholars more independent from computer scientists or NLP researchers, and lets the latter focus on the real technical, methodological or engineering challenges.

Learning a scripting language or general purpose analysis environment (such as RStudio, the python shell or CQP) also leads to valuable skills that benefit the involved scholars in future projects. In this way, investing the time to learn basics of scripting languages is more sustainable than getting used to a task-specific user interface.

3 CRETA Workflow

In order to extract character relation networks from narrative texts, CRETA employs a three-step workflow: Annotation of entity mentions in texts, segmentation of the text and extraction of and interaction with networks. The annotation of entity mentions closely resembles the NLP task of named entity recognition and can be addressed with an NLP workflow (see, for instance [NS07] for survey). Segmentation, however, is different: Not only is the task structurally more complex, it is also closer related to the specific research question literary scholars have, and needs to take them into account.

Therefore, we employ tools to allow literary scholars to experiment with different kinds of segmentation: Based on linguistic concepts (e.g., sentences), structural information (e.g., a letter in *Werther* or a 30-verse block in *Parzival*) or content-related information (an 'episode', as given by the plot of the narrative). Content based segmentation is based on textual annotation, structural information is given in the text (depending on file format), and linguistic segmentation is created based on linguistic preprocessing.

Technically, this is achieved by a combination of different tools. For entity mention detection, we annotated a corpus and trained sequence labelling models using ClearTk [BOB14] that can detect entity mentions on new texts. The segmentation interface allows specification of regular expressions (as segment boundaries) or pre-existing base annotations (automatically detected sentences or manually annotated plot units) and export of the resulting co-occurrence networks into GraphML. This further allows inspection of and interaction with the networks in a number of tools, for instance Gephi[6].

It is important to note that only some of these steps involve graphical user interfaces (e.g., the annotation tool). In order to generate an appropriate segmentation, however, scholars

[6] `https://gephi.org`

working on the texts also work on the regular expressions to actually segment the texts. If an expression (e.g., to capture date expressions that mark letters in *Werther*) over-generates, they debug it themselves.

4 QuaDramA Workflow

The technical workflow in QuaDramA is split into two major parts, and our scholarly partners are only involved in the second.

NLP Components NLP components are – as usual – arranged in a processing pipeline (higher level processing steps depend on lower level steps). We employ the pipeline framework Apache UIMA for this purpose and develop drama-specific components as UIMA components. Existing NLP components (as in DKpro [EdCG14]) are reused as much as possible. New components are to a large extent based on the machine learning framework ClearTk [BOB14]. As the project continues, NLP components are adapted and improved. From time to time, we re-process the entire corpus, and distribute the resulting annotated dramatic texts to all project partners. In this setup, the NLP pipeline is used to prepare data for the analysis.

Data Analysis Data analysis in QuaDramA is done with the R IDE RStudio. This allows quick analysis of large data sets, built-in plotting facilities and re-use of existing text/data analysis components available from within the DH community (e.g., stylo [ERK16] or syuzhet[7]). Analysis steps that are done repeatedly (e.g., analyzing the topical distribution of the figure speech) are wrapped into functions, which are combined in the drama-specific R package `DramaAnalysis`[8]. The use of R for data analysis by the literary scholars in the project does not work out of the box, however. It is clear that this only works if the necessary time is invested to learn some of the basics of R (and, in turn, some basic programming concepts). This, however, is supported by an increasing amount of handbook literature specifically for the DH community (e.g., [AT15]).

By using the console of a full-fledged programming language, we are also able to 'scale' with the requirements throughout the project runtime. Instead of re-developing some user interface, scholars can gradually use more complex analyses, without switching the technical or conceptual environment.

5 Conclusions

The appropriate visualization of data properties is also under discussion in the information visualization/visual analytics community [Ke08, KTM09], and our position is not in

[7] `http://www.matthewjockers.net/2015/02/02/syuzhet/`
[8] `https://github.com/quadrama/DramaAnalysis`

opposition. We are not arguing against visualization – in fact, powerful visualizations are a reason for opting for R. But we are arguing against 'blind visualization', without realizing what is visualized and how.

Modeling the workflow in a concrete DH project should not be taken lightly, and poses a number of challenges. Some are related to the specific nature of digital humanities, while others are more general management challenges. We have argued that not providing a unified graphical user interface is an option that – in addition to reducing development effort – is beneficial to the project goals, because technical details, that often have a profound influence on the analysis results, are not hidden away. In addition, it is beneficial to the development of the digital humanities as a field, as involved scholars gain experience with tools that can be re-used in other projects.

References

[AT15] Arnold, Taylor; Tilton, Lauren: Humanities Data in R. Springer International Publishing, 2015.

[BOB14] Bethard, Steven; Ogren, Philip; Becker, Lee: ClearTK 2.0: Design Patterns for Machine Learning in UIMA. In: Proceedings of the Ninth International Conference on Language Resources and Evaluation (LREC'14). European Language Resources Association (ELRA), Reykjavik, Iceland, pp. 3289–3293, 5 2014.

[EdCG14] Eckart de Castilho, Richard; Gurevych, Iryna: A broad-coverage collection of portable NLP components for building shareable analysis pipelines. In: Proceedings of the Workshop on Open Infrastructures and Analysis Frameworks for HLT. Association for Computational Linguistics and Dublin City University, Dublin, Ireland, pp. 1–11, August 2014.

[ERK16] Eder, Maciej; Rybicki, Jan; Kestemont, Mike: Stylometry with R: a package for computational text analysis. R Journal, 8(1):107–121, 2016.

[Ke08] Kerren, Andreas; Stasko, John T.; Jean-Daniel; North, Fekete Chris, eds. Information Visualization, volume 4950 of Lecture Notes in Computer Science. Springer, 2008.

[KR15] Kuhn, Jonas; Reiter, Nils: A Plea for a Method-Driven Agenda in the Digital Humanities. In: Proceedings of Digital Humanities 2015. Sydney, Australia, June 2015.

[KTM09] Kielman, Joe; Thomas, Jim; May, Richard: Foundations and Frontiers in Visual Analytics. Information Visualization, 8:239–246, 2009.

[NS07] Nadeau, David; Sekine, Satoshi: A survey of named entity recognition and classification. Lingvisticæ Investigationes, 30(1):3–26, 2007.

[SP08] Sculley, D.; Pasanek, Bradley M.: Meaning and mining: the impact of implicit assumptions in data mining for the humanities. Literary and Linguistic Computing, 23(4):409–424, 2008.

[TFK15] Trilcke, Peer; Fischer, Frank; Kampkaspar, Dario: Digital Network Analysis of Dramatic Texts. In: DH2015 Conference Abstracts. Sydney, Australia, 2015.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 1185

Modellierung eines digitalen Zeichenkatalogs für die Hieroglyphen des Klassischen Maya

Ein neues Konzept zur Klassifikation von Schriftzeichen sowie der qualitativen Bewertung und Einstufung von Entzifferungshypothesen

Franziska Diehr[1], Maximilian Brodhun[2], Sven Gronemeyer[3], Katja Diederichs[3], Christian Prager[3], Elisabeth Wagner[3] und Nikolai Grube[3]

Abstract: Im Projekt "Textdatenbank und Wörterbuch des Klassischen Maya" stellt der Zeichenkatalog eine der wichtigsten Komponenten zur Erstellung des digitalen Textkorpus und dessen linguistischer Analyse dar. Für die noch nicht vollständig entzifferte Schrift und Sprache des Klassischen Maya ist der Zeichenkatalog das essentielle Hilfsmittel zur Identifikation und Klassifikation der im Schriftsystem verwendeten Zeichen. Aufgrund besonderer Eigenschaften der Hieroglyphenschrift und der noch unvollständigen und damit auch auf Hypothesen basierenden Entzifferung ist eine Neukonzeption zur Inventarisierung und Klassifikation von Mayaschriftzeichen notwendig. Herausforderungen bei der Modellierung stellen sich vor allem bei der Erfassung von Zeichen und deren Zuordnung zu Graphemen sowie der qualitativen Bewertung und Einstufung von Entzifferungshypothesen. Dieser Beitrag konzentriert sich auf die Vorstellung des Zeichenkatalogs und seiner Bedeutung für die Erforschung des Schriftsystems des Klassischen Maya. Dabei wird der gewählte Modellierungsansatz erläutert und die Methode der Anforderungsanalyse unter besonderer Betrachtung des Aspekts der interdisziplinären Arbeit in einem Digital Humanities Projekt beschrieben.

Keywords: Digitale Geisteswissenschaften; Ontologiebasierte Modellierung; RDF; CIDOC CRM; Virtuelle Forschungsumgebung; TextGrid; Linguistik; Klassisches Maya; Hieroglyphenschrift

1 Einleitung

Forschungsgegenstand des Projekts "Textdatenbank und Wörterbuch des Klassischen Maya" (TWKM) ist die Hieroglyphenschrift der vorspanischen Mayakultur, die in der Zeit zwischen 500 v. Chr. und 1500 n. Chr. auf dem Gebiet der heutigen Staaten Mexiko, Guatemala, Belize und Honduras verwendet wurde. Ziel des Vorhabens ist die Erschließung der bislang rund 10.000 bekannten Texte und ihrer Schriftträger in einem maschinenlesbaren Korpus. Darauf basierend soll ein Wörterbuch des Klassischen Maya

[1] Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen, Metadaten und Datenkonversion, Papendiek 14, 37073 Göttingen, Deutschland, diehr@sub.uni-goettingen.de
[2] Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen, Forschung und Entwicklung, Papendiek 14, 37073 Göttingen, Deutschland, brodhun@sub.uni-goettingen.de
[3] Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität, Abteilung für Altamerikanistik, Oxfordstrasse 15, 53111 Bonn, Deutschland, (sgronemeyer|katja.diederichs|cprager|uzsb00|ngrube)@uni-bonn.de

doi:10.18420/in2017_120

erstellt werden, das sowohl den gesamten Sprachschatz und dessen Verwendung in der Schrift abbildet [No13]. Gefördert wird das bis auf voraussichtlich 2028 angelegte Langzeitvorhaben von der Nordrhein-Westfälischen Akademie der Wissenschaften und Künste. Die an der Universität Bonn angesiedelte Arbeitsstelle kooperiert dabei eng mit der Niedersächsischen Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen. In interdisziplinärer Zusammenarbeit werden die Hieroglyphentexte mit geisteswissenschaftlichen Methoden und informationstechnologischen Werkzeugen aufbereitet, ausgewertet und interpretiert [Pr14a]. Das Projekt nutzt dazu die virtuelle Forschungsumgebung TextGrid und passt dafür Komponenten an projektspezifische Bedürfnisse an.

Für die Erstellung des Textkorpus und des Wörterbuchs einer nicht entzifferten Sprache ist ein Zeichenkatalog, ein Inventar aller verwendeten Schriftzeichen, ein unverzichtbares Werkzeug. Dieser Beitrag widmet sich der Beschreibung des im TWKM-Projekt entwickelten Zeichenkatalogs sowie dessen Modellierung und erläutert dabei die Rolle der interdisziplinären Zusammenarbeit in einem in den Digitalen Geisteswissenschaften verorteten Projekts.

2 Kurze Einführung in das Schriftsystem des Klassischen Maya

Die Maya sind eine der fünf Kulturen weltweit, die unabhängig voneinander ein Schriftsystem entwickelten. Im Vergleich zu den übrigen Schrift- und Aufzeichnungssystemen in Mesoamerika ist die Hieroglyphenschrift der Mayakultur das einzige lesbare Schriftsystem, das über einen Zeitraum von rund 2000 Jahren verwendet wurde. Die frühesten Textzeugen entstanden im 3. Jahrhundert v. Chr. Diese Schrifttradition, die in der Klassischen Periode (100 – 810 n. Chr.) ihren Höhepunkt erreichte, dauerte bis zur Ankunft der spanischen Eroberer im 16. Jahrhundert an und wurde bis in das späte 17. Jahrhundert im Untergrund fortgeführt.

Aufgrund des ikonischen Charakters der etwa 650 Zeichen wird das Schriftsystem der Maya als Hieroglyphenschrift bezeichnet. Typologisch handelt es sich um ein logo-syllabisches Schriftsystem, in dem es zwei Zeichenklassen gibt, Silbenzeichen und Logogramme. Logogramme stehen für konkrete sprachliche Begriffe und verweisen mit wenigen Ausnahmen immer nur auf ein Denotat. Die zweite Zeichenklasse sind Vokal- und Silbenzeichen, die offene Silben repräsentieren. Sie dienten zur silbischen Schreibung lexikalischer und grammatischer Morpheme. Darüber hinaus fanden sie als vorangestellte oder angehängte phonetische Komplemente von Logogrammen Verwendung. Dadurch war es möglich, Wörter ausschließlich mit Silbenzeichen oder nur mit Logogrammen zu schreiben. In der Regel wurden Logogramme und Silbenzeichen miteinander kombiniert (Abb. 1). Eine ausgeprägte kalligraphische Komplexität der Texte wurde vor allem durch allographe Notation und mittels allomorpher Repräsentation von Zeichen erreicht. Dies erlaubte den Schreibern, Texte ästhetisch anspruchsvoll und ohne die Wiederholung von Zeichen zu verfassen. Für häufig verwendete Silben gab es mindestens zwei oder mehr

Zeichen. Die Schriftzeichen wurden so miteinander kombiniert, dass sie nahezu rechteckige Blöcke bildeten, wobei ein solcher Hieroglyphenblock wahrscheinlich der emischen Vorstellung eines Wortes entspricht. Aus der Kombination der auf unterschiedliche Satzteile verweisenden Hieroglyphenblöcke miteinander entstanden Sätze. Mehrere Sätze wurden zu komplexen Texten zusammengefügt, deren Syntax und Textstruktur jener modernen Maya-Sprachen ähneln [Pr14b].



Abb.1: Verwendung von Logogramm und Silbenzeichen [Mo02, 128]

3 Zur Begriffsbestimmung von Graphem, Graph und Zeichen[4]

Die Analyse eines jeden Schriftsystems beginnt mit dem Erstellen einer Liste all seiner Grapheme, der verschriftlichen Form des Zeichens. Grapheme sind auf abstrakter Ebene auf Regeln basierende, kontrastive Einheiten. Allographe stellen die konkret vorkommenden Varianten eines Graphems dar, die diesem zugewiesen werden können. Ein Graph ist hierbei ein konkret realisiertes, jedoch noch keinem Graphem zugewiesenes Schriftzeichen, basierend auf existierenden Definitionen von Graphem und Graph [Co06, 173-175][Cr10, 204]. Wenn ein Schriftzeichen als Graphem klassifiziert wird, dann ist die zugehörige Graphemklasse in diesem Sinne ein nicht vorzufindender, aber anhand diagnostischer Merkmale definierter abstrakter Prototyp, dessen Identität in allen möglichen Ausformungen seiner konkret abgebildeten Allographe erhalten ist. Zur Erstellung eines Grapheminventars werden alle Vorkommen von Graphen in Texten gesammelt und festgehalten [Co06, 174]. Hierbei wird zunächst nach Regeln für die Distinktion von Graphen gesucht, um daraus eine Menge verschiedener Grapheme zu eruieren. Aus dieser begrenzten Menge ergibt sich schließlich das Grapheminventar eines Schriftsystems, welches nach Rogers auch z.B. Numerale, Interpunktion und Diakritika einbezieht [Ro05, 10]. Die Verwendung des Begriffs Zeichen für den TWKM-Katalog begründet sich erstens in der Nutzung der Begriffe Schriftzeichen und Zeichen in ihrer allgemein akzeptierten Verwendung beim Verweis auf Schriftelemente. Weiterhin gibt es auch eine gewachsene Begriffstradition in der Epigraphik, wie etwa die Zeichenkataloge ägyptischer Hieroglyphen. Zweitens sollte eine Begrifflichkeit gewählt werden, die einerseits im Bereich der Linguistik im weitesten Sinne etabliert ist, andererseits außerhalb der Graphemik verwendet wird, und

[4] Die Definitionen sind im Rahmen des TWKM Working Paper mit dem Arbeitstitel "Standards for Maya Epigraphic Analysis I: Principles of Maya Graphemics" entstanden, das im Laufe des Jahres publiziert wird.

somit nicht im Kontext unserer Nutzung falsch verstanden werden kann. Das Zeichen verstehen wir im Sinne der Semiotik insofern, als es eine Bindung zwischen der Abbildungsebene zur Inhaltsebene ermöglicht, wobei zunächst lediglich seine Inhaltsseite beschrieben und ihm explizit zugewiesen wird. Das geschieht, in dem wir dem Zeichen sogenannte Zeichenfunktionen zuweisen. (Eine ausführliche Beschreibung der Zeichenfunktion erfolgt in Kapitel 6.)

4 Quellenlage und bestehende Zeicheninventare

Es ist sehr wahrscheinlich, dass niemals ein vollständiges Grapheminventar angelegt werden kann, da wir auf Grundlage bisher entdeckter und noch zu entdeckender Textzeugen arbeiten. Dabei sind insbesondere handschriftliche Quellen weitestgehend zerstört, bisher sind hier nur vier Kodizes bekannt. Die Wahrscheinlichkeit ist also hoch, dass Zeichen und deren Grapheme des Klassischen Maya bisher nur unvollständig in ihrer konkreten Form abgebildet und klassifiziert werden konnten und sich bisherige Einordnungen durch neue Funde möglicherweise ändern. In diesem Zusammenhang blicken wir auf eine noch relativ kurze Geschichte der Erforschung der Mayaschrift zurück, deren Durchbruch erst in den 1950er Jahren stattfand. Dennoch brachte sie bisher elf Kataloge für die Inventarisierung und Systematisierung der Hieroglyphen hervor. Dabei haben sich vor allem die Transkriptionskonventionen und Zeichennomenklaturen für Handschriften von Günter Zimmermann sowie der etablierte Katalog von Eric Thompson durchsetzen können. Letzterer stellt trotz fehlerhafter Klassifikationen, Doppelverzeichnungen und Unvollständigkeit des Textbestands bis heute das Standardreferenzsystem für Mayahieroglyphen dar [Pr14b]. Als besonders problematisch erweisen sich vor allem Mehrfachinventarisierungen, bei denen mehrere Allographe eines Graphems als verschiedene Zeichen inventarisiert wurden [Gr90] [Ke62][Ku89][Ri06][RSS96].

Ein Nachteil traditioneller Zeichenkataloge ist, dass sie einerseits fehlerhafte Klassifikationen enthalten und andererseits durch ihre gedruckte Fassung unveränderbar und somit nicht dynamisch erweiterbar sind. Dies verhindert, dass z.B. gegebene Fehlklassikfikationen korrigiert werden oder neue Verknüpfungen zu Zeichen und zu verschiedenen Zeichenfunktionen erstellt werden können. Hier kann ein digitaler Zeichenkatalog Abhilfe schaffen, indem er flexibel auf Änderungen reagieren kann und dabei gleichzeitig persistente Identifikationsmöglichkeiten bietet.

5 Anforderungsanalyse für die Modellierung des Zeichenkatalogs

Um einen an die konkreten Bedürfnisse der Mayaschriftforschung angepassten Zeichenkatalog zu realisieren, müssen konkrete Bedarfe an das Metadatenschema, dessen Umsetzung in einem geeigneten Erfassungssystem sowie an die zugrundeliegende technische Umgebung ermittelt werden. Unser Vorgehen ist an die Methode des Experteninterviews

angelehnt, dass laut Reinhold "insbesondere im Kontext der Modellierung von Forschungsprozessen und Forschungsdaten in den Digital Humanities [...] eine adäquate Methode der Informationsbedarfsanalyse dar[stellt], da aufseiten der Forschenden ein hohes Maß an impliziten Wissen zu erwarten ist" [Re15, 330]. Dabei sei aber zu beachten, dass von Experten nur Wissen mitgeteilt wird, wenn der Fragende bereits eine hohe Expertise über das Thema vorweist [Fl07, 218,219]. In unserem Falle bedeutet dies, dass von informationswissenschaftlicher und -technologischer Seite Verständnis über die grundlegenden Konzepte der Linguistik und Sprachforschung zu erlangen ist. Als interdisziplinäres Forschungsvorhaben zielen wir darauf ab, dass alle Beteiligten einen gemeinsamen Wissensstand erreichen. Um zu verstehen wie das domänenspezifische Wissen in der Datenstruktur repräsentiert und es mittels Erfassungssystems abbildet wird, erlangen die Schriftforscher Kenntnisse über Modellierung, Funktionsweise und praktischen Anwendung der Daten und ihrer Strukturierung. Damit wird letztendlich ein professionalisierter Umgang mit den erzeugten Forschungsdaten erreicht.

Der Prozess der Informationsbedarfsanalyse stellt somit den am stärksten interdisziplinär geprägten Bereich in der gemeinsamen Projektarbeit dar. Konkret sind wir dabei in folgender Weise vorgegangen: Zunächst erörterten wir Grundlegendes über den Wissensgegenstand, also den Zeichenkatalog und seiner Funktion im Projektkontext. Anhand des entstandenen Protokolls wurde ein Arbeitspapier erstellt, anhand dessen weitere Bedarfe ermittelt und vorhandene konkretisiert wurden. In einer Phase des intensiven und regelmäßigen Wissensaustauschs wurden einzelne Konzepte besprochen und Fragen zum Gegenstand und dessen Modellierung erörtert. Neben Telefonkonferenzen nutzten wir dafür auch kollaborative, digitale Arbeitsumgebungen wie Etherpads und ein Wiki. Hier wurden Vorschläge zu Definitionen und Strukturierung sowie zur technischen Umsetzung unterbreitet, die dann von anderer Seite auf ihre Plausibilität und Anwendbarkeit geprüft und auf ihre Funktionalität getestet wurden. Nach Rückmeldung wurden die Konzepte ggf. angepasst bzw. weiter optimiert. Abschließend fand die gemeinsame Redaktion der Dokumentation des Metadatenschemas[5] statt, in dem Definitionen aus dem Bereich der Linguistik und Schriftforschung in Konzepte der Wissensmodellierung integriert wurden.

6 Ein neuer Zeichenkatalog für das Klassische Maya als Ergebnis ontologisch-basierter Modellierung

Mit dem TWKM-Zeichenkatalog führen wir ein grundlegend neues Konzept für die Inventarisierung von Mayaglyphen ein, die eine flexible Zuordnung der Zeichen zu ihren Graphemen ermöglicht. Dies erreichen wir, indem wir Zeichen (Sign) und Graphe (Graph) getrennt voneinander erfassen (Abb. 2). Erst wenn ein Graph mit einem Zeichen verbunden wird (isGraphOf), erfolgt dessen Identifizierung als Allograph des Zeichens. Diese Verbindung ist optional, so dass auch Graphe inventarisiert werden können, die bisher

[5] Vollständige Dokumentation des Metadatenschemas des Zeichenkatalogs ist einsehbar unter: http://idiom-projekt.de/catalogue

noch keinem Zeichen zugeordnet werden konnten. Die Gesamtheit aller identifizierten Allographe bildet das Graphem des Zeichens. Je nach Forschungsstand kann dies flexibel angepasst werden, so dass Allographe durch neue Verknüpfungen hinzugefügt und Falschzuweisungen korrigiert werden können. Das Konzept der getrennten Erfassung von Zeichen und Graph und deren flexibler Zuordnung zueinander schafft dabei Möglichkeiten, denen die gedruckten Kataloge bisher nicht gerecht werden konnten. Das erarbeitete Konzept benötigt eine Datenstruktur, die es erlaubt semantische Relationen zwischen eindeutig referenzierbaren Entitäten herzustellen. Daher stellte sich ein Metadatenschema in RDF-Realisierung als optimale Form der Wissensrepräsentation für den TWKM-Zeichenkatalog heraus.

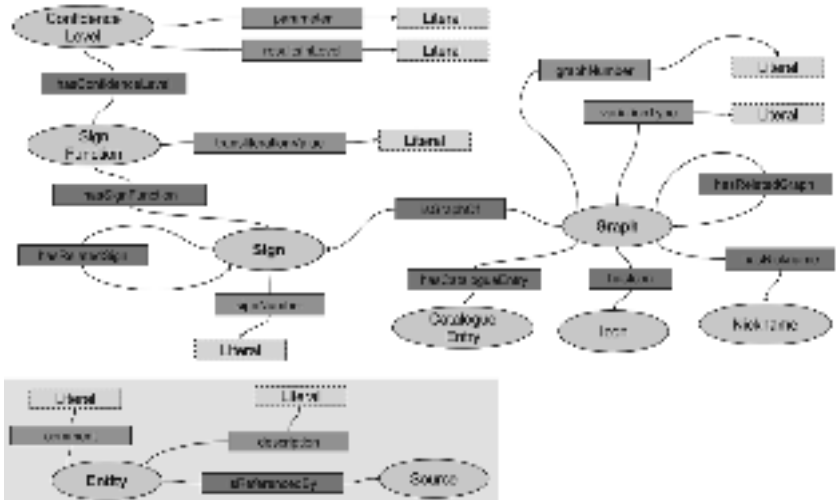


Abb.2: Domänenmodell des TWKM-Zeichenkatalogs[6]

Um mit anderen Datenbeständen und Systemen interoperabel zu sein, wurde die Suche nach einer geeigneten Basis-Ontologie angestrebt, an der sich die Modellierung des Zeichenkatalogs anbinden ließe. Es entzog sich jedoch unserer Kenntnis, ob ein Katalog für Schriftzeichen bereits Gegenstand einer ontologischen Modellierung war.

Trotz des Fokus‘ auf die Beschreibung von Prozessen zur Dokumentation von Objekten des kulturellen Erbes, bietet die Ontologie CIDOC CRM[7] viele Metakonzepte, die sich für die Modellierung des Zeichenkatalogs als nachnutzbar erwiesen. Die Klassenhierarchie (Abb. 3) zeigt, dass fast alle Klassen des TWKM-Zeichenkatalogs als Subklassen von CIDOC CRM definiert werden konnten. Als “identifiable expressions in natural language” wurden “Sign” und “Graph” als spezifische Subkonzepte von “E33_Linguistic_Object” [IC11] gefasst. Die Klasse “ConfidenceLevel” ermöglicht es, eine Aussage über die Plausibilität einer Zeichenfunktion zu treffen, damit kann sie als “set[s] of propositions about

[6] Grafik erstellt von Franziska Diehr
[7] CIDOC Conceptual Reference Model

real or mental things and that are documented as single units or serve as topic of discourse" (E89_Propositional_Object) [IC11] verstanden werden.

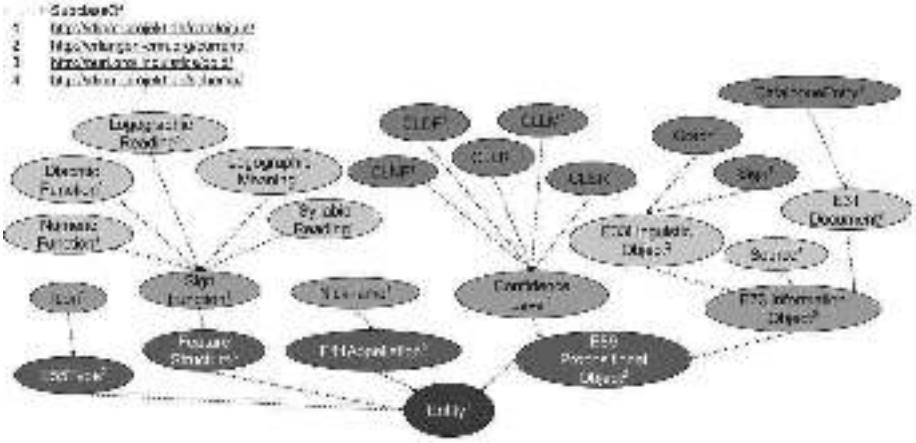


Abb. 3: Klassenhierarchie des TWKM-Zeichenkatalogs[8]

Als einzige Ausnahme wurde "SignFunction" nicht als Subkonzept eines CIDOC CRM Terms, sondern als Subklasse von "FeatureStructure" aus GOLD[9] modelliert. Mit "SignFunction" wird einem Zeichen eine Funktion zugeordnet (Abb. 2, hasSignFunction). Damit kann es als eine spezifische Form von "FeatureStructure [...] a kind of information structure [...] used to group together qualities or features of some object" [GO10] aufgefasst werden. Im Klassischen Maya lassen sich fünf Zeichenfunktionen beschreiben: (1) Zahlzeichen "NumericFunction", (2) diakritische Zeichen "DiacriticFunction", (3) Logogramme mit identifizierter Lesung "LogographicReading", (4) Logogramme mit unidentifizierter Lesung "LogographicMeaning", (hier wird den Zeichen wird eine Bedeutung zugeordnet) und (5) syllabische Zeichen mit identifizierter Lesung "SyllabicReading".

6.1 Qualitative Bewertung und Einstufung von Entzifferungshypothesen

Bei der Arbeit mit einer noch nicht vollständig entschlüsselten Schrift müssen Forscher zwangsläufig verschiedene Hypothesen zur Entzifferung von Zeichen vorlegen. Wir sehen es als eine notwendige Aufgabe an, alle nachvollziehbaren Lesungsvorschläge zu dokumentieren. Dabei ist es uns ein besonderes Anliegen, die Entzifferungshypothesen nicht nur zu sammeln, sondern deren Qualität nach formalen Kriterien bewertbar zu machen.

[8] Grafik erstellt von Franziska Diehr

[9] General Ontology for Linguistic Description (GOLD) zur Beschreibung von Linguistik mit dem Ziel grundlegende Kategorien und Relationen für die wissenschaftliche Beschreibung von menschlicher Sprache zu definieren [GO10].

Dazu haben wir ein neutrales, transparentes System geschaffen, dass anhand formaler Kriterien ermöglicht, eine Einstufung der Plausibilität und Qualität von Entzifferungshypothesen vorzunehmen.

Dem Zeichen werden, wie vorangehend erläutert, Zeichenfunktionen zugewiesen (Abb. 2, hasSignFunction), die einen graphemischen Transliterationswert (translitertionValue) haben. Ein Zeichen kann mehrere gleiche Arten von Zeichenfunktionen haben, so kann es bspw. zwei logographische Lesungen mit jeweils einem distinkten Transliterationswert haben. Um diese mit einem "ConfidenceLevel" zu versehen, werden aus einer Liste jene Kriterien (parameter) ausgewählt, auf die sich der angegebene Transliterationswert stützt. Für jede Art der Zeichenfunktion wurde ein eigenes Set[10] entwickelt, das sich u.a. am sprachlichen Nutzungskontext (z.B. korrekte Wortart, plausibler Text-Bild-Bezug etc.) oder am Nachweis in modernen Maya-Sprachen orientiert [Ke76, 165-185][Ho01]. Die Kriterien sind mittels Aussagelogiken so miteinander in Bezug gesetzt, dass je nach Kombination automatisch eine qualitative Einstufung (resultsInLevel) vorgenommen wird. Dabei steht "Level 1" für die höchstmögliche Konfidenzstufe und damit für eine evidente Entzifferungshypothese.

Ein Beispiel: Für die Zeichenfunktion des Logogramms **CH'AM**, das in einigen Kontexten **ch'a-CH'AM**, in anderen **CH'AM-ma** geschrieben wird, und als transitives Verb häufig mit dem präfigierten Pronomen u- erscheint, welches anzeigt, dass das Wort mit einem Konsonanten beginnen muss, ergibt die Auswahl der Kriterien "preposed complementation [-prefix(es)]", "postponed complementation [-suffix(es)]" und "preconsonantal ergative pronoun" die Einstufung in "Level 2". Damit liegt eine relative hohe, aber noch keine gesicherte Entzifferung vor.

6.2 Integration bestehender Zeicheninventare

Um auf die Unzulänglichkeiten der bisherigen Kataloge zu reagieren, nimmt der TWKM-Zeichenkatalog eine vollständige Neuinventarisierung der bekannten Mayaschriftzeichen vor. Dabei wird jedes Zeichen mit einer Katalognummer versehen (Abb. 2, signNumber). Als in der Forschung etablierte Arbeitsinstrumente, werden die elf vorhandenen Kataloge als Konkordanz in den TWKM-Katalog integriert. Dies geschieht indem die neu inventarisierten Graphe mit Einträgen aus den anderen Katalogen versehen werden (Catalogue-Entry). Dabei werden u.a. Katalognummer, Abbildung, Kommentar und Quellennachweis dokumentiert. Durch die Zuordnung des Katalogeintrags zum Graph statt zum Zeichen, können wir die Mehrfachinventarisierungen aufbrechen und Falschzuordnungen aufheben. Durch die Verbindung zu den neuinventarisierten Graphen erhalten wir außerdem die forschungsgeschichtliche Perspektive auf die Zeichenklassifikation und ermöglichen unseren Nutzern auch die Arbeit mit und Suche nach bereits etablierten Katalognummern.

[10] siehe dazu Dokumentation des Metdatenschemas http://idiom-projekt.de/catalogue

6.3 Klassifikation von Graphvarianten

Ein Grund für Mehrfachinventarisierungen und Falschzuordnungen von Graphemen zu ihren Zeichen ist sicherlich der Variantenreichtum, mit dem Mayaschreiber Glyphen darstellten. Bisher existierte keine systematische Untersuchung, wie Varianten gebildet wurden, auch wenn einige Vorarbeiten existieren [Be34a][Be34b][Be36][Be37][La95, 204ff.], die z.B. Substitutionen, Rotationsprinzipien oder Symmetrien untersuchen. Einige Kataloge listen für bestimmte Zeichen auch geläufige Graphvarianten, aber ohne sie komparativ zu inventarisieren. Das TWKM-Projekt konnte erstmalig allgemeingültige Regeln und Prinzipien zur Graphbildung durch graphotaktische Analysen ableiten und definieren. So wurden insgesamt 45 einzelne Variationsmöglichkeiten identifiziert, die sich in neun Klassen systematisieren lassen (Mono-, Bi-, Tri-, & Variopartite, Division, Animation Head, Animation Figure, Multiplication, Extraction) und für alle Graphvarianten universell vergleichbar sind. Die Identifizierung von Varianten stellt ein weiteres Argument für die getrennte Erfassung von Zeichen und Graph dar und begründet unser Konzept. Bei der Erfassung eines Graphs wird dessen "variationType" aus einer vordefinierten Liste ausgewählt. Der Typ wird durch eine Abkürzung, z.B. "st" (Monopartite), dargestellt. Wenn möglich, wird dieses Graph dann mit einem Zeichen verbunden, das bereits eine Katalognummer besitzt. Sobald die Verknüpfung erfolgt ist, wird automatisch die "graphNumber", bestehend aus der "signNumber" des Zeichens und dem "variationsType" gebildet, bspw. 556st.

6.4 Bestimmung des ikonischen Charakters der Graphe

Insbesondere zur Durchführung paläo- und ikonographischer Studien zum bildhaften Charakter der Mayaglyphen, haben wir ein kontrolliertes Vokabular entwickelt. In SKOS modelliert, umfasst es 13 Facetten[11], die das Graphikon formal beschreibbar machen. Im Metadatenschema wird das Graph mittels "hasIcon" (Abb. 2) mit den entsprechenden Termen des Vokabulars (Icon) verknüpft.

6.5 Nachweissystem für Literaturquellen

Um dem grundlegenden Anspruch an wissenschaftliche Arbeit, dokumentierte Aussagen mit entsprechenden Quellen zu belegen, gerecht zu werden, legen wir besonderen Wert darauf, sämtliche Informationen stets nachvollziehbar und vor allem überprüfbar zu halten. Insbesondere beim Nachweis von Lesungshypothesen und den Einträgen aus den konkordanten Katalogen sind Quellenangaben unverzichtbar. Wie das Domänenmodell (Abb. 2) zeigt, können alle Entitäten (Entity) unseres Schemas mittels der Relation "isReferencedBy" einer Quelle (Source) verbunden werden. Damit wird ein lückenloser Nachweis der verwendeten Quellen ermöglicht. An dieser Stelle kommt eine weitere Komponente unserer virtuellen Arbeitsumgebung zum Einsatz: Für unsere

[11] human and animal, body part, age and sex, pose and gesture, plant and plant part, landscape, artefact physical state, property, orientation

Projektbibliographie verwenden wir das open-source Literaturverwaltungsprogramm Zotero, das innerhalb unseres Erfassungssystems mittels API abgefragt wird. Sowohl URI der betreffenden Ressource als auch eine formatierte bibliographische Angabe werden bei der entsprechenden Instanz, z.B. einer Lesungshypothese, gespeichert.

7 Der Zeichenkatalog als Grundbaustein für Textkorpus und linguistische Analyse

Da es für die Hieroglyphenschrift des Klassischen Maya keinen Unicode-Schriftsatz gibt und die Lesung vieler Zeichen noch nicht bekannt oder umstritten ist, kann das in TEI kodierte Textkorpus weder aus einem festen Schriftzeichensatz, noch aus phonemisch-transliterierten Werten bestehen. Um ein flexibles Korpus zu erhalten, das auf neue Entzifferungen und verschiedene Lesungshypothesen reagieren kann, nutzen wir den TWKM-Zeichenkatalog als eine Art Grundbaustein bei der Korpuserstellung. Innerhalb des kodierten Texts wird jede Glyphe mittels Katalognummer und einer Referenz zu der entsprechenden URI im Zeichenkatalog erfasst. Der Text wird damit erst durch die Abfrage der Daten aus dem Zeichenkatalog ‘lesbar’. Dies geschieht in einem weiteren Prozessierungsschritt mittels des linguistischen Analysetools, einer weiteren Komponente unserer virtuellen TWKM-Arbeitsumgebung. Hier werden die numerischen Transliterationen (Katalognummern) zunächst in die entsprechende graphemische und weiter in phonemische Transliterationen überführt. Erstes geschieht semi-automatisch, da es mehrere mögliche Transliterationswerte (z.B. syllabische und logographische Lesungen) für ein Zeichen gibt. Hier spielt auch die im Zeichenkatalog vorgenommene qualitative Einstufung der Transliterationswerte eine entscheidende Rolle: Die Analyse kann anhand hoher oder niedriger Konfidenzstufen durchgeführt werden. Die Lesungshypothesen können somit in ihrem Verwendungskontext überprüft werden, was idealerweise zu neuen Erkenntnissen für die Entzifferung führen kann. Das linguistische Analysetool wird es darüber hinaus ermöglichen parallele, als gleichwertig anzusehende Textanalysen anzulegen. Somit kann den verschiedenen Lesungshypothesen Rechnung getragen werden. Durch die Verbindung von Zeichenkatalog, Textkorpus und linguistischer Analyse entsteht letztendlich ein dynamischer Text, der je nach Forschungsfrage individuell generiert werden kann.

Bei der Erstellung des Textkorpus zeigt sich noch ein weiterer Vorteil, der sich aus der getrennten Erfassung von “Sign” und “Graph” ergibt: Soweit es die Beschaffenheit des Textträgers erkennen lässt, wird auf das Graph im Zeichenkatalog referenziert. Damit wird die konkrete Verwendung bestimmter Graphvarianten explizit dokumentiert und Fragen zum Verwendungskontext von Glyphen können untersucht werden: Gibt es bestimmte Perioden oder geographische Räume in denen sie verwendet wurden? Zeigt sich eine Abhängigkeit von der Art des Textträgers, seines Aufstellungsorts oder vom Textinhalt?

8 Ausblick auf kommende Arbeiten

In den kommenden Monaten ist die Neuinventarisierung von Mayaschriftzeichen mittels des Erfassungssystems des digitalen Zeichenkatalogs eine der Hauptaufgaben im Projekt. Dabei werden auch Zeichnungen für alle erfassten Graphe von den Schriftforschern im TWKM-Projekt angefertigt und in den Zeichenkatalog integriert.

Derzeit wird intensiv an der Spezifikation des TEI-Schemas für die Textauszeichnung des Korpus gearbeitet. Ziel ist es, in der verbleibenden Projektlaufzeit bis voraussichtlich 2028, alle bisher bekannten Textträger (ca. 10.000) zu dokumentieren und deren Texte mittels des TEI-Schemas auszuzeichnen. Um diese Arbeit intuitiver zu gestalten und die Texterstellung zu beschleunigen, wird zurzeit ein einem Plug-In für TextGrid gearbeitet, dass mittels eines Parsers aus manuell eingegebenen numerischen Transliterationen der Texte XML-Dokumente generiert, die nach projektspezifischem TEI-Schema strukturiert sind.

Sobald die grundlegende Inventarisierung aller Zeichen und Graphe erfolgt ist, wird der Zeichenkatalog auf dem Projektportal veröffentlicht. In der Zwischenzeit arbeiten wir an einem umfangreichen Aufsatz mit dem Arbeitstitel “Standards for Maya Epigraphic Analysis I: Principles of Maya Graphemics”, der im Laufe des Jahres auf der Projektwebseite[12] veröffentlicht werden soll. Dieser wird, neben dem hier besprochenen Konzept zur Modellierung des Zeichenkatalogs, auch eine ausführliche Besprechung der Graphvariantenbildung, der Konfidenzstufen und -kriterien sowie weiterer, hier nur ansatzweise betrachteten, Forschungsergebnisse enthalten. Damit wird dieser Aufsatz auch insbesondere für die Fachcommunity der Mayaschriftforschung von Interesse sein.

Literaturverzeichnis

[Be34a] Beyer, Hermann: The Position of the Affixes in Maya Writing I. Maya Research 1, 20-29, 1934.

[Be34b] Beyer, Hermann: The Position of the Affixes in Maya Writing II. Maya Research 1, 101-108, 1934.

[Be36] Beyer, Hermann: The Position of the Affixes in Maya Writing III. Maya Research 3(1), 102-104, 1936.

[Be37] Beyer, Hermann: Studies on the inscriptions of Chichen Itza. Contributions to American Anthropology and History 4(21), 29-175, 1937.

[Bu90] Bußmann, Hadumod: Lexikon der Sprachwissenschaft, 2. Auflage, 1990.

[Co06] Coulmas, Florian: The Blackwell Encyclopedia of Writing Systems, 4. Auflage, Blackwell, Oxford, 2006.

[12] http://mayawoerterbuch.de/

[Cr10] Crystal, David: The Cambridge Encyclopedia of Language, 3. Auflage, Cambridge University Press, Cambridge, 2010.

[No13] Nordrhein-Westfälische Akademie der Wissenschaften und der Künste: 10,7 Millionen Euro für zwei neue Langzeitforschungsprojekte, 2013, http://www.awk.nrw.de, Stand: 11.05.2017.

[FL03] Farrar, Scott; Langendoen, D. Terrence: A linguistic ontology for the Semantic Web, GLOT International 7(3), 97-100, 2003.

[Fl07] Flick, Uwe: Qualitative Sozialforschung, Eine Einführung, 7. Auflage, Rowohlt, 2007.

[GO10] GOLD: General Ontology for Linguistic Description, 2010, http://linguistics-ontology.org/, Stand: 11.05.2017.

[Gr90] Grube, Nikolai: Die Entwicklung der Mayaschrift: Grundlagen zur Erforschung des Wandels der Mayaschrift von der Protoklassik bis zur spanischen Eroberung. Acta Mesoamericana 3, Von Flemming, Berlin, 1990.

[IC11] ICOM/CIDOC CRM Special Interest Group: CIDOC Conceptual Reference Model, Version 5.0.4, 2011, http://www.cidoc-crm.org/cidoc-crm/, Stand: 11.05.2017.

[Ho01] Houston, Stephen: Introduction. In: (Houston, Stephen, Oswaldo Chinchilla & David Stuart): The Decipherment of Ancient Maya Writing, University of Oklahoma Press, Norman, S. 3-19, 2001.

[Ke62] Kelley, David: Review of A Catalog of Maya Hieroglyphs, by J. Eric S. Thompson. American Journal of Archaeology 66, 436-438, 1962.

[Ke76] Kelley, David: Deciphering the Maya Script, University of Texas Press, Austin, 1976.

[Ku89] Kurbjuhn, Kornelia: Maya: The Complete Catalogue of Glyph Readings, Schneider & Weber, Kassel, 1989.

[La95] Lacadena, Alfonso: Evolución formal de las grafías escriturarias mayas, Implicaciones históricas y culturales, Madrid, 1995.

[Mo02] Montgomery, John: How to Read Maya Hieroglyphs. Hippocrene, New York, NY. 2002.

[Pr14a] Prager, Christian: Zielsetzung, 2014, http://mayawoerterbuch.de, 11.05.2017.

[Pr14b] Prager, Christian: Zeichentypen und Kataloge, 2014, http://mayawoerterbuch.de, 11.05.2017

[Re15] Reinhold, Anke: Das Experteninterview als zentrale Methode der Wissensmodellierung in den Digital Humanities. Information Wissenschaft Praxis, 66 (5-6), 327–333, 2015.

[Ri06] Riese, Berthold: Drei neue Maya-Hieroglyphen Kataloge. Anthropos 101, 238-246, 2006.

[Ro05] Rogers, Henry: Writing Systems, A linguistic Approach, Blackwell Textbooks in Linguistics, 2005.

[RSS96] Ringle, William M.; Smith-Stark, Thomas C.: A Concordance to the Inscriptions of Palenque, Chiapas, Mexico, Middle American Research Institute, Tulane University, New Orleans, 1996.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 1197

Modelling creative influence between artists and their works with OWL and CIDOC CRM

Tuan Anh Tran[1], Daniel Isemann[2]

Abstract: In this paper we present an ontology for modelling creative influence between artists as documented as part of an international art exhibition on Dutch Golden Age genre painters titled *Vermeer and the Masters of Genre Painting: Inspiration and Rivalry*. The model, which describes influences on an artwork-to-artwork level, was developed in close cooperation with the curatorial advisory board of the exhibition and has guided the data gathering efforts in preparation for the exhibition. Our ontology extends the CIDOC Conceptual Reference Model (CRM) and has been influenced in its design by the CRM. It was implemented using the Erlangen CRM implementation and populated with an RDF graph containing over 900 instances of individual connections between works of art, referencing external Linked Open Data from Getty ULAN. The focus of this paper is on technical questions of knowledge modelling and implementation. The wider project context, the genesis of the domain expert conceptualizations and use cases for the ontology and RDF data are presented elsewhere in greater detail.

Keywords: Artistic influence/inspiration, OWL/RDF ontology, CIDOC Conceptual Reference Model, Erlangen CRM, Linked Open Data (Getty ULAN)

1 Introduction

Masters of the Dutch Golden Age have long been known for taking inspiration from each other and incorporating elements or techniques seen elsewhere – albeit often modified – into their own paintings. The exhibition project *Vermeer and the Masters of Genre Painting: Inspiration and Rivalry* on display successively at the Musée du Louvre, Paris, the National Gallery of Ireland, Dublin, and the National Gallery of Art, Washington, throughout 2017 and early 2018 focuses on mutual inspiration taking between preeminent Dutch genre painters in the period from 1650 to 1675 [Wa17]. As part of the exhibition project several data sets on artist relations and artist whereabouts were compiled by art historians, mostly from the literature. The core set of these data gathering efforts covers observations on pairs of artworks each expressing an hypothesis that one work of art was inspired by the other. In this paper we present the data model according to which this data set was recorded and

[1] Universität Regensburg, Lehrstuhl für Medieninformatik, Universitätsstraße 31, 93053 Regensburg, tuan-anh.tran@stud.uni-regensburg.de
[2] Universität Regensburg, Lehrstuhl für Medieninformatik, Universitätsstraße 31, 93053 Regensburg, Daniel.Isemann@ur.de

doi:10.18420/in2017_121

implemented as linked data. The focus of this paper is on technical questions of knowledge modelling and implementation. The genesis of the art historical conceptualization by experts on the subject of the Dutch Golden Age, which was guided by knowledge modelling expertise, will be presented elsewhere. Similarly, the use context of the presented ontology and knowledge base for data analysis, aggregation and visualisation related to the exhibition project is presented elsewhere [Sc17], [Is18].

2 Related work

Creation of a knowledge model in the digital humanities is typically used to provide a basis for exploring information and aiding in serendipitous discovery. An example of a project that aims for this is the ECARTICO database, which facilitates analysis of cultural actors and their social environments [Ni13]. Not yet available as Linked Open Data, it offers support for modelling social and genealogical networks of historical persons. In a similar vein, MapTap and the underlying database, Cornelia, model historical social networks of tapestry designers and entrepeneurs in 17th century Antwerp, Brussels and Oudenarde [Br16]. These projects build on the knowledge of art historians and archival sources. Our project builds on art historical literature and original work done in the context of the aforementioned exhibition project. In contrast to ECARTICO or MapTap which focus on social networks of persons, the core of our data model is concernend with relationships between works of art.

An important consideration when creating a data model is whether existing resources can be reused, for instance as top-level ontologies which guide the development of a model. The Europeana Data Model (EDM) [Do10] is a project that aims to provide a top-level ontology to facilitate exchange of information between different ontologies in the cultural heritage domain; the CIDOC CRM [Do03], which we used as a top-level reference model, assures that models based on it are compatible with a range of other specialized ontologies in the digital humanities and can be integrated into the EDM framework as well. To this end the EDM definition declares equivalences to CRM in its class and property descriptions where applicable [Eu16], and with a mapping of EDM to CRM proposed by the CIDOC CRM Special Interest Group [He15] this compatibility is further elaborated upon. Below the level of generality and abstraction typically exhibited by top-level ontologies, domain and application ontologies should reflect expert conceptualisations in a given domain and in addition facilitate search and retrieval of needed information by the intended audience. In the context of cultural heritage resources Pattuelli shows that taking a user-centered approach when designing an ontology, creating a prototype ontology based on user interviews and reworking the model with user feedback in mind, can yield a result that meets user needs more adequately [Pa11].

Modelling creative influence as weighted links between works of art leads to a networked representation akin to a social network graph. There is an abundance of literature on determining “influence” in networks and discovering interesting structures in edge-weighted graphs. Romero et al. [Ro11] present an algorithm to determine the influence of Twitter

users. They are examining what qualifies for influence and how to quantify it in order to make predictions about behaviour; the art historians in the context of our project had to make decisions about what to qualify as an influence and quantify its effect, albeit not with algorithms but by studying the artworks and using observations and hypotheses documented in relevant literature to determine the likelihood of influences. The degree of influence of a piece of art can be seen as analogous to what Romero et al. describe in their work: as Twitter users' influence may be, among other aspects, approximated by the amount of retweets of their content [Ro11], the influence of an historic piece of art may be estimated by the number and nature of subsequently influenced works. Modelling a data structure to allow algorithmic analysis as Romero et al. have done in their work may allow for further art historic insights. The Oddball algorithm [Ak10] aims to find anomalies in weighted graphs. Assuming the data gathered by art historians can be abstracted to a weighted graph of influences, an algorithm such as this may lead to new discoveries or confirm assumptions about the data. Modelling an ontology that adequately describes influence properties may for example show "cliques"[Ak10] of highly interconnected neighbourhoods of artworks or "stars" [Ak10] or near stars, i.e. works that inspired a number of disconnected neighbourhoods, such as works which were received or responded to in various different ways. Examining such structures may provide new insights into possible interactions between artists that were not previously suspected or described in historic documents and may then be further analysed in order to determine their validity.

3 Modelling decisions

In a similar vein to Pattuelli [Pa11], albeit on a smaller scale and more informally, we continuously incorporated results from discussions with art historians that helped clarify the nature of the data and how it could best be represented into the design and implementation of our data model as part of an iterative development process.

The starting point for our discussion here, which focuses on the more technical questions of knowledge modelling and implementation, is the semi-formal conceptualization of how inspiration taking can manifest itself in two works of art. This conceptualization was agreed upon by art historians and arrived at after discussions with knowledge engineers.[3] According to this conceptualization, an artwork shows influence by another work of art (Fig. 1) or two works of art document an influence the source of which cannot be determined with any certainty (i.e. it is unclear which of the two works was the influencer, Fig. 2).

Judgements of this kind are subject to qualitative criteria that describe the "connection strength", which expresses the degree of similarity between the paintings, and likelihood of the influences in five discrete categories each. The concept of "connection strength" is intended to express the degree to which one work was inspired by an other, ranging from

[3] The second author has been involved in discussions on how to formalize certain relevant art historical intuitions for the exhibition project mentioned above from an early stage of planning on. This process will be documented separately.

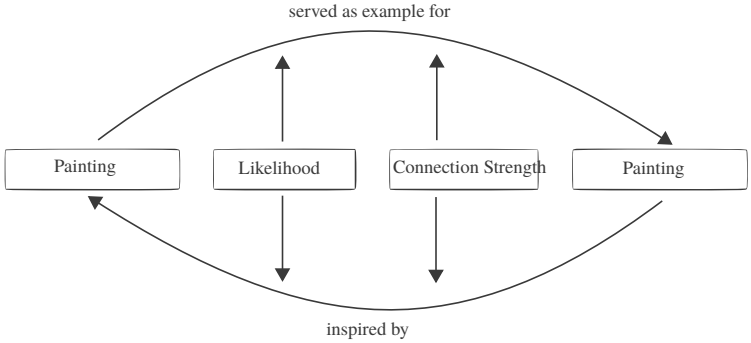


Fig. 1: Informal concept of a model for directed influences: an influence is characterized by a painting that served as an example and a painting that was inspired by it. The influence is further qualified by measures for "likelihood" and "connection strength" of the proposed connection.

paintings that only vaguely reflect another work through a number of indistinct elements (connection strength 1) to works that can be classified as a copy, partial copy or pastiche of another work (connection strength 5). These categories for both connection strength and likelihood were chosen as part of a deliberation process between art historians and knowledge engineers. The likelihood categories ("certainly", "most likely", "probably", "possibly" and "perhaps") were inspired by terminology commonly used in art historic literature to qualify statements in terms of their likelihood or probability.

Additionally, both qualitative descriptions received numeric values for each of their categories, to facilitate data aggregation and analysis. Both, the number of categories and the respective numeric values assigned to these for aggregation purposes, are not to be interpreted as final and unchangeable settings, but rather as one possible approach to qualify these influences. Modelling probabilities as discrete values instead of a continuous range of values was suggested by the data gathering process: art historians compiling and gathering influence probabilities may assign granular distinctions of probabilities to different influences; using continuous probability values can lead to disagreements between experts, as historic sources cannot be regarded as positive proof for these probabilities and

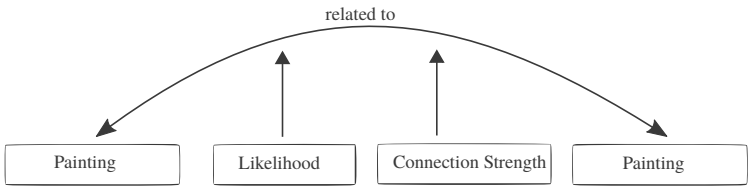


Fig. 2: Informal concept of a model for undirected influences: analoguosly to the directional concept, the influence is qualified by measures for "likelihood" and "connection strength". The direction of influence, however, is not specified.

are themselves open to interpretation by experts. Using fewer and discrete probabilities may allow for a more agreed upon vocabulary and a more consistent use.

The informal conceptualization illustrated in Fig. 1 and 2 implicitly assumes an historic causality behind the influences documented. Each conjectured influence is thought to have arisen from an historical constellation in which one artist got to know about another work either through first hand experience, through sketches or prints or otherwise and consequently adopted certain elements into one of his own creations.

The complexity that art historians associated with the inspirational connections between works called for a semantically rich modelling that goes beyond a simple relational link. We followed an event-based approach for this as it allows great flexibility in what additional information can be attached to the links. On the basis of the informal conceptualisation and discussions with art historians, a first intuition was to interpret the over 900 instances of individual connections between works of art present in the data as historical events of the Dutch Golden Age and possible semantic models were evaluated. The chosen model should support the modelling of art historical concepts should facilitate integration with other models, to allow interconnection with related data sets in the digital humanities. The Simple Event Model (SEM) [Va11] tries to describe a generalized event model with domain agnostic vocabulary and meets our needs, but provides only very generic vocabulary.

A candidate for an extensive formal top-level model in the digital humanities domain is the CIDOC Conceptual Reference Model (CRM) [Do03]. CIDOC CRM was created specifically for the cultural heritage domain, with definitions and formalizations that help map heterogeneous data from different contexts to a common model. This proved helpful in our case, as for example creator-artwork connections were already implicitly modeled and could be readily used. Translating the entities, object and data properties to a semantically rich description language such as OWL allows for expressing cardinality constraints and other axiomatizations. CRM concepts as defined in the official description of the standard [Le15] can be mapped to OWL and RDF constructs. This was done by Goerz et al. in the form of the Erlangen CRM [Go08], which is an OWL implementation of the CIDOC CRM. Using an OWL implementation instead of the official RDF representation of CIDOC CRM [Fo15] also granted more axiomatic expressiveness. In contrast to CRM, generalized models like the SEM do not provide built-in concepts close to the art historical domain, such as material works and their creation process, and were ultimately not considered.

In further discussions with art historians, the previous assumption of influence between works of art as art historical events for the purposes of the model was replaced with a more abstract proposition: the individual influences gathered in the data, characterized by qualitative criteria, can alternatively be modelled as appraisals by art historians. Modelling the influences in this way instead of as distant historical events represented the actual data compiled by the art historians much more accurately. This also avoided difficulties regarding the estimation of likelihood, which otherwise would have to be interpreted as expessing a strong claim about the probability with which a not very precisely defined historic event

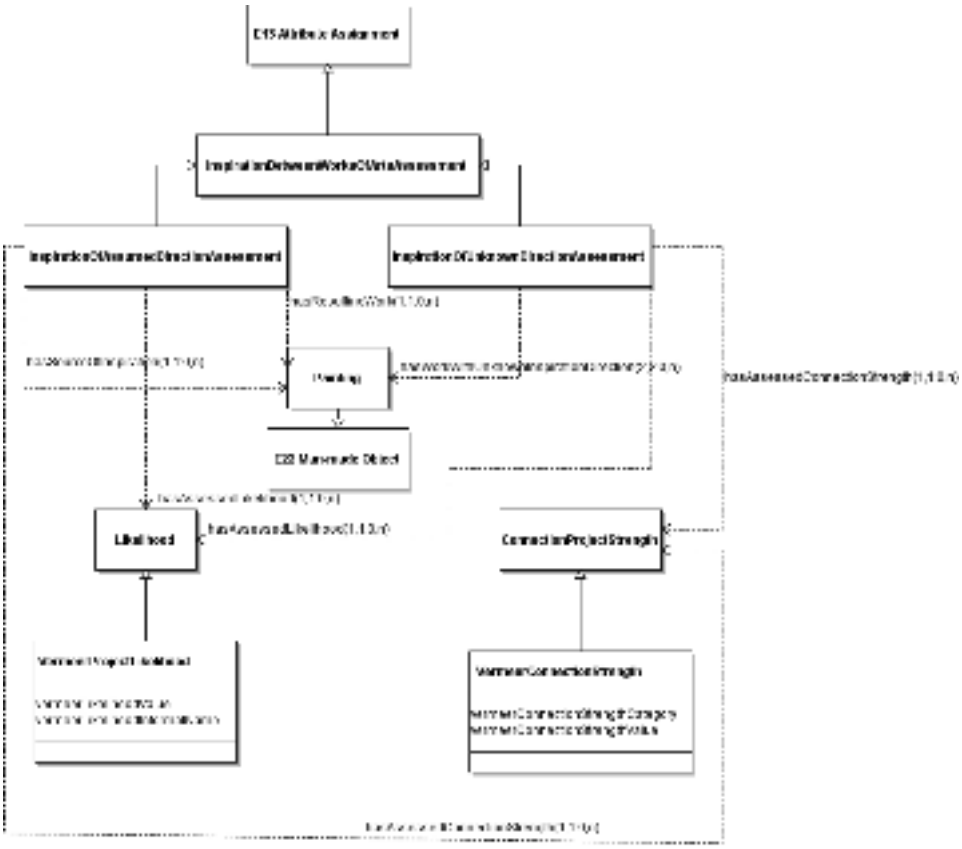


Fig. 3: Influence Assessment: this overview of the core model shows assessment classes and their connections to “Painting”, “Likelihood” and “ConnectionStrength” classes, including cardinalities; dotted arrows represent object properties with cardinalities, solid arrows mark subclass relationships.

(roughly one artist taking inspiration from someone else’s work) occurred centuries ago. Focusing on expert appraisals instead, the likelihood refers to the appraisal itself, i.e. the certainty or uncertainy an art historic scholar assigns to his or her judgement. This is closer to our data and led to the CRM “E13 Attribute Assignment”[4] class [Le15] as the core class of our model extension (cf. Fig. 3). This is sub-classed with two different assessment entities, that describe creative influences of assumed direction (work A served as example for work B) and creative influences between artworks with unknown direction (work A and B influenced each other, but it is unclear which one served as example), corresponding to the informal conceptualisations presented in Fig. 1 and 2, respectively.

[4] CRM denotes classes with a capital E (for entity) followed by a number.

To model likelihoods and connection strengths, “Likelihood” and “ConnectionStrength” OWL-classes were created; these were sub-classed with the specialized “VermeerProjectLikelihood” and “VermeerProjectConnectionStrength”. The CRM provides most concepts needed to readily organise the data in CRM form: artists are modelled as instances of the CRM “E39 Actor” class, the production of works of art, needed to connect artists and the artwork, is represented as a CRM “E12 Production” instance. The extension of CRM “E13 Attribute Assignment” with a “VermeerProject_InspirationBetweenWorksOfArtAssessment” sub-class, which in turn is subclassed by “VermeerProject_InspirationOfAssumedDirectionAssessment” and “VermeerProject_InspirationOfUnknownDirectionAssessment”, models the needed concepts of known and unknown influence directions. CRM “E22 Man-Made Object” is extended with a “Painting” class for the works of art. The CRM properties “P108 has produced”, with its inverse “was produced by”, and “P14 carried out by”, with its inverse “performed”, are used to connect the “Painting” class with “E12 Production” and ”E12 Production” with “E39 Actor”, respectively. Self-defined properties outside of the CRM scope include “hasVermeerProjectSourceOfInspiration” and “hasVermeerProjectResultingInspiredWork” to connect “Painting” instances to “VermeerProject_InspirationOfAssumedDirectionAssessment” instances. Similarly, “hasVermeerProjectWorkWithUnknownInspirationDirection” connects instances of “Painting” to instances of “VermeerProject_InspirationOfUnknownDirectionAssessment”. To define the assessments’ likelihood and connection strengths, “hasVermeerProjectAssessedInspirationConnectionStrength” and ““hasVermeerProjectAssessedInspirationLikelihood” describe instances of “VermeerProject_InspirationBetweenWorksOfArtAssessment” and its sub-classes. To make queries easier, two shortcut properties were also created: “isProducerOfThing” and its inverse “isProductOfActor”, which shortcut “Painting” - “E12 Production” - “E39 Actor” relationships in both directions. Further properties include “hasEarlyDate”, “hasLateDate”, “hasTitleEng”, “hasTitleNld” and “rkdWorkOfArtNumber”. These are used to further describe “Paintings”. The “vermeerConnectionStrengthCategory”, “vermeerConnectionStrengthValue”, “vermeerLikelihoodInformalName” and “vermeerLikelihoodValue” properties are used to describe the “VermeerProjectLikelihood” and “VermeerProjectConnectionStrength” classes. Finally, “vermeerProjectCredits” and “vermeerProjectDescriptionOfAdoptedElements” connects further descriptive data to the “VermeerProject_InspirationBetweenWorksOfArtAssessment” class instances. Fig. 3 shows the core model of inspiration/influence assessments.

The influence assessments collected by the art historians include assumptions about their likelihood and connection strength. We opted to create generic Likelihood and ConnectionStrength entities to represent these in the model, which were sub-classed with our specialized likelihood and connection strengths that were created for the influence assessments. This approach was taken to allow for different conceptualizations of uncertainties and connection strengths in other use cases, such as future projects in other art domains for instance. The final implemented project specific entities for Likelihood and ConnectionStrength were moved to a separate small application ontology which contained Vermeer project specific

likelihood and connection strength terminology and values as enumerated classes VermeerProjectLikelihood and VermeerProjectConnectionStrength (cf. Fig. 3). Enumeration was chosen, as the Vermeer project likelihood and connection strengths were each manifested in five categories, “certainly”, “most likely”, “probably”, “possibly” and “perhaps” for likelihoods and ascending numbers from one to five for connection strengths, each of which had assigned numeric values for exploratory and analytical purposes. The categories and values for likelihoods and connection strengths were encoded as data properties for the instances of the likelihood and connection strength classes. This small ontology can readily be exchanged for other likelihood and connection strength scales if needed. The influence assessments, represented by “VermeerProject_InspirationBetweenWorksOfArtAssessment” and its sub-classes “VermeerProject_InspirationOfAssumedDirectionAssessment” and “VermeerProject_InspirationOfUnknownDirectionAssessment”, were qualified by a source for the assessment attached as a literal string data property “vermeerProjectCredits”, which took the form of a bibliographic reference, if the assessment was gathered from the literature, or the name of an art historian associated with the exhibition project, if the assessment was made as part of the project. The influence assessments were further described by the string valued data property “vermeerProjectDescriptionOfAdoptedElements”, to inform about elements that prompted the influence assessment.

As we were looking to include Linked Open Data sources to augment the available data, there were two obvious areas we tried to import external controlled vocabularies for, if feasible: the artists and the paintings occurring in our data set. Getty ULAN (The Union List of Artist Names) [Ab15b] provides comprehensive data about alternative names and spellings, relationships, roles and other information. It is a “vocabulary containing names and other information about artists, patrons, firms, museums, and others related to the production and collection of art and architecture.” [Ab15b]. Getty ULAN provides valuable augmentation to our data, as the raw data itself only contained artist names and no further information. The ULAN artist vocabulary is imported for use into our ontology. The production of paintings is modelled as a CRM “E12 Production” entity, which, among other properties, includes inherent properties that could model our data, such as the “P14i performed”[5] and its inverse “P14 carried out by” object properties [Le15]. The defined domains and ranges of object properties allow reasoners to infer used Getty Vocabulary Program ontology (GVP) class instances to belong to a CRM class (e.g. GVP Subject or PersonConcept instances can be inferred to be in the “E39 Actor” CRM class). This allows for a semantic connection between the artist and his painting via a CRM “E12 Production” entity. We furthermore defined axiomatic shortcut-properties on the basis of the CRM properties, to facilitate easier queries. One such shortcut, “isProductofActor” directly connects a painting and its creator (cf. Fig. 4).

We also looked at possible sources for the augmentation of artwork data. There are databases available, like Getty CONA (Cultural Objects Name Authority)[Ab15a], that

[5] “performed” is defined as the inverse property to “P14 carried out by” property in CRM; the “P14i” notation is an Erlangen CRM convention to signify the inverse nature of the property

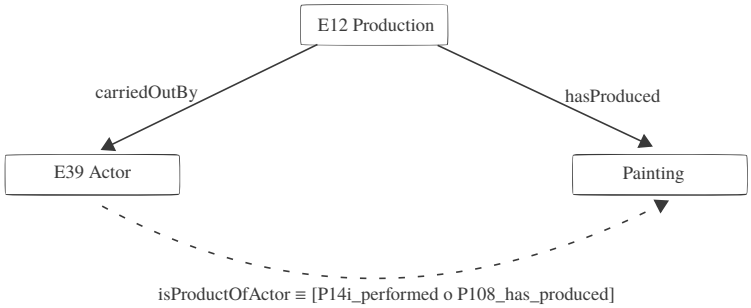


Fig. 4: The Painting and E39 Actor classes are connected by a E12 Production class. The shortcut "isProductOfActor" is defined as a concatenation of the "P14i performed" and "P108 has produced" object properties.

collect information about cultural artifacts or works of art, but unlike Getty ULAN they are not available as Linked Open Data and could not be imported like Getty ULAN. Instead we allowed the instances of the "Painting" class to have several data properties to include more information about the works of art: As our data included RKD artwork numbers[6] for the paintings, we carried those as a data property "rkdWorkOfArtNumber" for future reference. Artwork names are encoded as "hasTitleEng" and/or "hasTitleNld" data properties, if the data declares an English and/or a Dutch name. "hasEarlyDate", "hasLateDate" data properties take the two dates present in the data for each work of art, which represent the earliest and latest date of the likely completion of a painting.

These dates and their meaning were also a point of consideration: Our data contained time spans, which were represented by a pair of years, that marked the assumed earliest and latest date of the time spans. Studying the CRM specifications, the CRM already accounted for inaccurate or imprecise time spans through its "P81 ongoing throughout" and "P82 at some time within" properties, that describe the minimum and maximum period of a time span respectively [Le15]. A proposed way to map these properties to RDF (and by extension to OWL) was outlined in a document on the CIDOC website [Ho11]. We ultimately decided to not pursue the date modelling further at this stage, as the art historians did not assign a high priority to this aspect (apart from displaying dates or date ranges as part of the "tombstone information", i.e. the little record typically displayed together with an image of the work). A more detailed and sound modelling of the time spans may be part of future work.

Summing up the choices outlined above, we used Erlangen CRM as our CIDOC CRM implementation, Getty ULAN as a controlled vocabulary for integration of artist information, our own auxiliary ontology for likelihoods and connection strengths and project specific entities and properties that we created on the basis of available Vermeer project data.

[6] RKD art work numbers are record numbers assigned by the RKD-Nederlands Instituut voor Kunstgeschiedenis (Netherlands Institute for Art History) to works of art in their collection.

4 Conclusion

We have outlined our approach to modelling the semantics of data describing influences and inspirations between works of art, based on OWL/RDF and the CIDOC CRM [Do03], [Le15]. Choosing the CRM allowed us to focus on the core of our model (the influence description) and take advantage of preexisting properties and entities. Using the CRM, specifically the Erlangen CRM OWL implementation, ensured basic compatibility with other ontologies that use CRM specifications while at the same time providing the flexibility of defining specialized entities for our purpose. Because of the generalized nature of the CRM, importing the Getty ULAN [Ab15b] controlled vocabulary to provide further information about artists in the data set did not present a problem and integrated seamlessly. Importing our own auxiliary ontology for likelihood and connection strength measures was similarly straightforward. The artworks should ideally also be linked to an external source of information. As described above, we have not yet done this, as a source as readily usable as ULAN is for artists is not available for works of art and modelling this in detail was not a priority at this stage. We hope that Getty will make their CONA [Ab15a] database available as Linked Open Data in the future. The modelling of dates, although an important aspect in art historical contexts and also relevant for questions of causal influence between two works, was so far only done in a rudimentary form; presently all dates are attached as literals to the painting instances in the knowledge base. Further considerations in connection with the use of more precise sources should lead to a more precise modelling of dates present in the data.

Possible use cases of the described conceptual model and the data organised accordingly are discussed in a separate publications [Sc17], [Is18]. [Sc17] presents a visualization framework which builds on the knowledge model and data described here. The framework facilitates browsing and exploratory analysis. [Is18] explores the artistic influences between cities in the Dutch Golden Age by aggregating influences taking into account the likelihoods and connection strengths, in different ways; comparing different aggregation methods to each other and to expert rankings may confirm the "gut-feeling" of experts with regard to the importance of certain cities and/or show unexpected insights, that could warrant further art historical research. Modelling an ontology for this domain and collecting data according to it may thus support and perhaps intensify the analysis and discovery of art historic facts and connections. New art historic insights may also be possible, by employing graph and network analysis along the lines of [Ak10] and [Ro11] which we intend to explore once the more straightforward aggregations and visualisations have been evaluated.

We have presented an ontology to model the influences between works of art, specifically genre paintings of the Dutch Golden Age. Invariably some of the choices and conceptualisations made will have been influenced by the particularities found in the paintings of the 17 masters included in the exhibition and the ways they looked at and responded to each others works. Nevertheless we hope that the model presented here, which was designed and implemented with generality and modularity in mind, will be robust enough to inform the formalized description of hitherto unrecorded creative influences either as an organic

expansion of the current dataset or by transferring the model or parts of it to such influences as may be observed in creative endeavours of different eras and of different natures.

Acknowledgements

The authors would like to thank the members of the curatorial advisory board of the exhibition project *Vermeer and the Masters of Genre Painting: Inspiration and Rivalry*, in particular Dr Adriaan Waiboer, Head of Collections and Research at the National Gallery of Ireland, Dublin, as well as all other domain experts and art historians involved in the project for fruitful and enlightening discussions and for the challenge to apply knowledge modelling principles to this exciting project.

References

[Ab15a] About CONA, 2015, URL: https://www.getty.edu/research/tools/vocabularies/cona/about.html, visited on: 04/18/2017.

[Ab15b] About the ULAN, 2015, URL: https://www.getty.edu/research/tools/vocabularies/ulan/about.html, visited on: 04/18/2017.

[Ak10] Akoglu, L.; McGlohon, M.; Faloutsos, C.: Oddball: Spotting anomalies in weighted graphs. Advances in Knowledge Discovery and Data Mining/, pp. 410–421, 2010.

[Br16] Brosens, K.; Alen, K.; Slegten, A.; Truyen, F.: MapTap and Cornelia Slow Digital Art History and Formal Art Historical Social Network Research. Zeitschrift für Kunstgeschichte 79/3, pp. 315–330, 2016.

[Do03] Doerr, M.: The CIDOC conceptual reference module: an ontological approach to semantic interoperability of metadata. AI magazine 24/3, p. 75, 2003.

[Do10] Doerr, M.; Gradmann, S.; Hennicke, S.; Isaac, A.; Meghini, C.; van de Sompel, H.: The Europeana Data Model (edm). In: World Library and Information Congress: 76th IFLA general conference and assembly. Pp. 10–15, 2010.

[Eu16] Europeana: Definition of the Europeana Data Model v5.2.7, 2016, URL: http://pro.europeana.eu/files/Europeana_Professional/Share_your_data/Technical_requirements/EDM_Documentation/EDM_Definition_v5.2.7_042016.pdf, visited on: 05/14/2017.

[Fo15] FORTH-ICS: CIDOC CRM v6.2 (draft) encoded in RDFS, 2015, URL: http://www.cidoc-crm.org/sites/default/files/cidoc_crm_v6.2-draft-2015August.rdfs.xml, visited on: 05/13/2017.

[Go08] Goerz, G.; Oischinger, M.; Schiemann, B.: An implementation of the CIDOC conceptual reference model (4.2.4) in OWL-DL. In: Proceedings of the 2008 Annual Conference of CIDOC-The Digital Curation of Cultural Heritage. 2008.

[He15] Heraklion: Issue 292: Is EDM compliant with CRM?, 2015, URL: http://www.cidoc-crm.org/Issue/ID-292-is-edm-compliant-with-crm, visited on: 05/14/2017.

[Ho11] How to implement CRM Time in RDF, 2011, URL: http://old.cidoc-crm.org/docs/How_to%20implement%20CRM_Time_in%20RDF.pdf, visited on: 05/11/2017.

[Is18] Isemann, D.; Tran, T. A.; Waiboer, A.: A tentative map of influences between urban centres of genre painting in the Dutch Golden Age – an exercise in "Slow" Digital Art History. In: Proceedings of the Joint Conference on Digital Encounters with Cultural Heritage and Workshop on Research and Education in Urban History in the Age of Digital Libraries, March 30-31, 2017, Saxon State and University Library Dresden (SLUB), Dresden, Germany. Springer CCIS, forthcoming, 2018.

[Le15] Le Boeuf, P.; Doerr, M.; Ore, C. E.; Stead, S.: Definition of the CIDOC Conceptual Reference Model (Version 6.2), 2015, URL: http://www.cidoc-crm.org/sites/default/files/cidoc_crm_version_6.2.pdf, visited on: 04/08/2017.

[Ni13] Nijboer, H.; Bok, M.: ECARTICO: Linking cultural industries in the early modern Low Countries, c. 1475-c. 1725. Newsletter-Consortium of European Research Libraries 28/, 2013.

[Pa11] Pattuelli, M. C.: Modeling a domain ontology for cultural heritage resources: A user-centered approach. Journal of the American Society for Information Science and Technology 62/2, pp. 314–342, 2011.

[Ro11] Romero, D. M.; Galuba, W.; Asur, S.; Huberman, B. A.: Influence and Passivity in Social Media. In (Gunopulos, D.; Hofmann, T.; Malerba, D.; Vazirgiannis, M., eds.): Machine Learning and Knowledge Discovery in Databases: European Conference, ECML PKDD 2011, Athens, Greece, September 5-9, 2011, Proceedings, Part III. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, pp. 18–33, 2011, ISBN: 978-3-642-23808-6, URL: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-23808-6_2.

[Sc17] Schikora, C.; Isemann, D.: InfluViz – A Visualization Tool for Exploring and Analyzing Creative Influence between Artists and their Works. In: Proceedings of the 21st International Conference Information Visualisation, 11 - 14 July 2017, London South Bank University, London, UK. IEEE Computer Society CPS, 2017.

[Va11] Van Hage, W. R.; Malaisé, V.; Segers, R.; Hollink, L.; Schreiber, G.: Design and use of the Simple Event Model (SEM). Web Semantics: Science, Services and Agents on the World Wide Web 9/2, pp. 128–136, 2011.

[Wa17] Waiboer, A. E., ed.: Vermeer and the Masters of Genre Painting: Inspiration and Rivalry (exh. cat. Musée du Louvre, Paris/ National Gallery of Ireland, Dublin/ National Gallery of Art, Washington, 2017-2018). Yale University Press, 2017.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 1209

Semantische Datenmodellierung mit CIDOC CRM – Drei Fallbeispiele

Laura Albers[1], Peggy Große[2] und Sarah Wagner[3]

Abstract: Die semantische Anreicherung von Forschungsdaten mit Hilfe von Ontologien ist eine Möglichkeit, Daten zu strukturieren und langfristig interpretierbar zu machen. Für die Modellierung der Datenstruktur ist es wichtig, sowohl die technische Ebene zu verstehen, als auch mit geisteswissenschaftlichem Blick die Anforderungen des zu behandelnden Gegenstandes zu erfassen. Im Folgenden werden drei Forschungsprojekte aus dem Kulturbereich vorgestellt, die ausgehend von den jeweiligen Anforderungen Modellierungen für komplexe Sachverhalte vorschlagen.

Keywords: Semantische Wissensmodellierung, WissKI, CIDOC CRM, Forschungsprojekte, Romanische Wandmalerei, Friedensrepräsentationen, Kunst- und Wunderkammern

1 Einleitung

An Forschungseinrichtungen werden zunehmend inter- und transdisziplinäre Projekte initiiert, in denen große Datenmengen gesammelt, generiert und auf spezifische Fragestellungen hin ausgewertet werden müssen. Zudem sollten Forschungsdaten langfristig interpretierbar bleiben. Demzufolge muss das Datenmodell sowohl die inhaltliche Ausrichtung des jeweiligen Projektes berücksichtigen, als auch die digitalen Ressourcen nachhaltig erschließen.

Im Folgenden sollen mögliche Lösungen in der Modellierung anhand drei in ihrem Schwerpunkt unterschiedlich ausgerichteter Forschungsprojekte dargestellt werden. Die Projekte sind am Germanischen Nationalmuseum Nürnberg (GNM) und der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg (FAU) angesiedelt, deren Modellierung auf Basis des CIDOC Conceptual Reference Model[4] (CRM) umgesetzt ist. Das CIDOC CRM stellt die einzige Ontologie dar, die sich über die letzten Jahre als Erfassungsschema für den Bereich des kulturellen Erbes durchgesetzt hat [HF15 S. 120]. Um der Spezifizierung

[1] Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Lehrstuhl für Kunstgeschichte, Schlossgarten 1 – Orangerie, 91054 Erlangen, laura.albers@fau.de.

[2] Germanisches Nationalmuseum, Kornmarkt 1, 90402 Nürnberg, p.grosse@gnm.de.

[3] Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Lehrstuhl für Kunstgeschichte, Schlossgarten 1 – Orangerie, 91054 Erlangen, s.wagner@gnm.de.

[4] CIDOC CRM wurde vom International Committee for Documentation als Teil des International Council of Museums (ICOM) als formale Referenzontologie erarbeitet und ist seit 2006 als ISO Norm (ISO 21127) anerkannt. In der „Erlangen CRM“ (URL: http://erlangen-crm.org/ [08.05.2017]) auf Basis von OWL liegt eine maschinenlesbare Version vor.

doi:10.18420/in2017_122

des zu beschreibenden Themengebiets innerhalb des kulturellen Gegenstands gerecht zu werden, kann die Ontologie angepasst bzw. erweitert werden. Diese ausgearbeitete Version stellt eine auf ein spezielles Thema zugeschnittene Anwendungs- oder Domänenontologie dar.

Die virtuelle Forschungsumgebung WissKI[5] benutzt zur semantischen Tiefenerschließung das Erlangen CRM und ermöglicht neben dem Sammeln und Verwalten von komplexen Datenmengen auch das Generieren von neuem Wissen. Durch die Einbindung von Drupal bringt WissKI die nötigen Voraussetzungen für web-basiertes, kollaboratives und ortsunabhängiges Arbeiten mit. Dem Kriterium der Nachnutzung und Verfügbarkeit von Forschungsdaten kommt die Tatsache nach, dass sowohl das Erlangen CRM, das Content Management System Drupal, als auch die Software WissKI als Open Source Instrumente zur Verfügung stehen.

Die Erfassung in WissKI erfolgt in Formular- und Freitextfeldern. Erstere eignen sich für die Erfassung von Daten und Fakten, letztere bieten die Möglichkeit diskursive Informationen aufzunehmen, die annotiert werden können. Die Daten werden vom System im Hintergrund durch das CRM semantisch erschlossen, wodurch die Lesbarkeit und Übertragbarkeit der Daten in andere Kontexte gesichert ist. Die Nutzung bestehender Normdaten (authority files) trägt zur Anreicherung und Kontextualisierung der Forschungsdaten bei. Zudem ermöglicht WissKI die Erstellung lokaler Vokabulare, die eine einheitliche Erfassung der Daten gewährleisten. Der sogenannte Pathbuilder unterstützt die Modellierung der Pfade, indem er nur jene Klassen oder Eigenschaften zur Auswahl vorschlägt, die der vorangegangenen Klasse oder Eigenschaft entsprechen.

2 Fallbeispiel: Repräsentationen des Friedens

2.1 Anforderungen und Ziele

Das von der Leibniz-Gemeinschaft seit Juli 2015 geförderte internationale Kooperationsprojekt „Repräsentationen des Friedens im vormodernen Europa“ erforscht Friedensbilder im Zeitraum vom 16. bis 18. Jahrhundert. Friedensvereinbarungen mussten über den reinen Vertragstext hinaus erklärt, begründet und vermittelt werden. Das übernahmen Friedensrepräsentationen, die ein multimediales Phänomen der Frühen Neuzeit waren. Folglich nimmt das Forschungsprojekt visuelle Darstellungen, sprachliche Bilder sowie musikalische Ausprägungsformen in den Blick.[6]

[5] URL: http://wiss-ki.eu/ [08.05.2017], WissKI ist das Akronym für Wissenschaftliche KommunikationsInfrastruktur.

[6] Das Leibniz-Institut für Europäische Geschichte, Mainz, untersucht Friedenspredigten, die Herzog August Bibliothek, Wolfenbüttel, Dichtungen und Festschriften, das GNM Objekte aus den graphischen und numismatischen Sammlungen, das Deutsche Historische Institut, Rom, Kantaten, Oratorien und Festmusiken vor allem in Bezug auf Italien, und das Tadeusz Manteuffel Institut für Geschichte der Polnischen Akademie

Um abstrakte Konzepte wie Frieden, Gerechtigkeit oder Wohlstand darzustellen, verwendeten Künstler, Dichter oder Komponisten einen Kanon von Motiven, die europaweit genutzt und verstanden wurden. Dieses „Vokabular" des Friedens soll beispielhaft erschlossen und über die Gattungs- und Genregrenzen hinweg analysiert werden. Zudem wurden gemeinsame Fragestellungen zu transmedialen Rezeptionsvorgängen, Veränderungen der Motivik im Zusammenhang mit unterschiedlichen Friedensschlüssen, zu Funktion und Wahrnehmung von visuellen, sprachlichen und musikalischen Konzepten entwickelt. Am Anfang steht daher die transdisziplinäre Erfassung der entsprechenden Quellenbestände, die sich vor allem aus Massenmedien wie Büchern, Flugblättern, Medaillen und Predigtdrucken zusammensetzen. Die erfassten Informationen beziehen sich sowohl auf Daten zu einem bestimmten physischen Objekt, als auch auf deren Inhalte und Form, wie Ikonografie bzw. Motivik, Textgattung oder Instrumentierung. Außerdem muss der Fragestellung zufolge der inhaltliche Zusammenhang zwischen Objekten, Quelleninhalten und Friedensereignissen dokumentiert werden.

2.2 Datenschema und Datenmodellierung

Bei den zu erfassenden Medien handelt es sich überwiegend um „Massenmedien", wie Drucke, Bücher, Medaillen und Flugblätter, deren Inhalte in Bezug auf die oben formulierten Forschungsfragen so weit wie möglich standardisiert erfasst werden sollen. Bei der Konzeptionierung mussten folgende in den Quellenbeständen begründete Gegebenheiten einbezogen werden:

- Inhalte werden über lange Zeiträume hinweg auf bzw. in Druckerzeugnissen immer wieder rezipiert, häufig auch über Gattungsgrenzen hinweg.
- Die Quellengattung Flugblatt besteht aus Text- und Bildkomponenten, die aus unterschiedlichen Kontexten stammen können und auf einem Flugblatt wiederverwendet wurden. Der Ursprung von Text und Bild kann unterschiedlichen Zeiten angehören, ebenso kann deren Rezeption getrennt voneinander in anderen Gattungen erfolgen.
- Die Medaille bildet als physisches Objekt eine Einheit. Doch befinden sich Darstellungen auf beiden Seiten, die unterschiedlich rezipiert worden sein können.

Diese Sachverhalte mussten in der Modellierung besonders berücksichtigt werden, zumal die Fragestellungen des Projektes vor allem auf die Inhalte abzielen. Das führte zu der Entscheidung, zwischen der physischen Ausformung und den auf oder in den Objekten dargestellten Inhalten zu unterscheiden. Die physische Ausformung wurde als Instanz der Klasse E84 Information Carrier (Informationsträger) modelliert und der Inhalt als Instanz der Klasse E73 Information Object (Informationsgegenstand).

der Wissenschaften, Warschau, die Friedensrepräsentationen in den östlichen Gebieten Europas.

Instanzen der Klasse Informationsträger müssen laut der Beschreibung des CIDOC für einen bestimmten Zweck entworfen worden sein, was bei allen behandelten Quellen gegeben ist. E84 erlaubt zudem eine Beziehung zwischen dem materiellen Gegenstand und seinem immateriellen Informationsgehalt herzustellen [LKD10, S. 110].



Abb. 1: Auszug aus der Datenbank: Objektdokument mit den verknüpften Inhalten (Bespiel Medaille: Vorder- und Rückseite)

Die Modellierung der Inhalte muss dem geisteswissenschaftlichen Beschreibungs- und Analyseinventar gerecht werden. Die Historizität der Quellen bedingt eine Unschärfe in der Information, die nicht objektiv gegeben ist, sondern einem erkennenden Subjekt oder einer Gruppe zuzuschreiben sind [Ja16, S. 107]. Bei der Bestimmung und Interpretation von Themen und Inhalten visueller, sprachlicher oder musikalischer Quellen wird versucht, die Haltung des Künstlers, des Auftraggebers oder des zeitgenössischen Betrachters im Hinblick auf die Funktion und Bedeutung der Bilder, Wörter oder Noten zu erkennen [Bü14, S. 13]. Diesen Interpretationsvorgang durch die WissenschaftlerInnen gilt es im Datenmodell abzubilden.

Motive wurden als Instanzen der Klasse E55 Type (Interpretation Type) aufgefasst, die Konzepte umfasst, die mit Begriffen aus Thesauren und kontrollierten Vokabularen bezeichnet werden können [LKD10, S. 89]. Zur Erschließung von Bildinhalten existiert mit Iconclass ein weit verbreitetes Klassifizierungskonzept als Linked Open Data, das hinterlegt wurde.[7]

[7] URL: http://www.iconclass.nl/home [12.05.2017].

Die Interpretation der Motive ist ein Akt der Zuweisung durch den Betrachter und Forscher und wird im Datenmodell durch die Klasse E17 Type Assignment (representation type assignment) ausgedrückt [LKD10, S. 60]. Dadurch wird die oben angesprochene Unschärfe der Information auch in der semantischen Struktur der Daten abgebildet. Zudem könnten gegebenenfalls zu einem späteren Zeitpunkt nähere Angaben zur Klassifizierungshandlung aufgenommen werden.

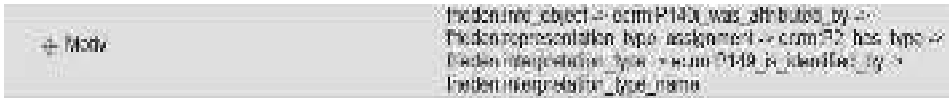


Abb. 2: Auszug aus Pathbuilder der Datenbank

3 Fallbeispiel: Kunst- und Wunderkammern im aktuellen Museumskontext

3.1 Anforderungen und Ziele

Das Dissertationsprojekt an der FAU widmet sich der Erfassung, Analyse und Kategorisierung von "Kunst- und Wunderkammern" in zeitgenössischen musealen Dauerausstellungen. Im Museumsbereich erlebt der historische Sammlungstyp der Kunst- und Wunderkammer insbesondere seit Ende des 20. Jahrhunderts eine regelrechte Renaissance.[8] Vielerorts werden einst bürgerliche, höfische oder kirchliche Sammlungen erforscht, neu aufbereitet und in Rückberufung auf ihre historischen Wurzeln als „Kunst- und Wunderkammer“ oder „Kunstkammer“ der Öffentlichkeit präsentiert.[9] Rezeptionen und Adaptionen dieses frühneuzeitlichen Sammlungsmodells treten in der gegenwärtigen Ausstellungspraxis in sehr unterschiedlichen Formen auf und reichen von historisch nahen Rekonstruktionen bis hin zu fiktiven, idealen Neukreationen.

Ziel der Dissertationsarbeit ist es, eine repräsentative Auswahl von Dauerausstellungen des deutschsprachigen Raums insbesondere im Hinblick auf Konzeption, Sammlungsgeschichte und Entstehungskontext zu untersuchen und anhand dessen Merkmale für eine Klassifizierung und strukturierte Erfassung herauszuarbeiten. Durch das entstehende Datenmodell soll eine Vergleichbarkeit der verschiedenen Ausstellungen ermöglicht werden, um nicht nur die Bandbreite dieser Ausstellungen, die sich alle unter

[8] Seit den 1990ern hat die Forschung wesentliche Beiträge zum frühneuzeitlichen Sammlungswesen und auch speziell zum Phänomen der Kunst- und Wunderkammer geleistet, was sich im zunehmenden Aufkommen von Ausstellungen zu dem Thema niederschlägt.

[9] Beispielsweise sind die Kunstkammer im Kunsthistorischen Museum Wien, die Kunstkammer auf Schloss Friedenstein in Gotha oder die Kunst- und Wunderkammer auf Burg Trausnitz in Landshut drei von zahlreichen Ausstellungen, die nach dem Jahr 2000 (wieder-)eröffnet wurden.

demselben „Label“ präsentieren, besser differenzieren zu können, sondern auch Rückschlüsse auf kuratorische Präferenzen, oder zeitliches und örtliches Vorkommen treffen zu können. Darüber hinaus sollen die aktuelle und, falls überliefert, die historische Kunstkammer hinsichtlich ihrer Anordnung und Präsentation, zugrundeliegender Ordnungsschemata, inhaltlicher Schwerpunkte oder auch der räumlichen Unterbringung verglichen werden. Eine Gegenüberstellung der historischen und aktuellen Situation soll somit, zumindest in Bezug auf grundlegende Eigenschaften, ermöglicht werden.

3.2 Datenschema und Datenmodellierung

Für die Erfassung und Dokumentation der Ausstellungen sowie für die speziellen Fragestellungen und Zuordnungsvorhaben wurde ein Schema entwickelt, das eine Einordnung der jeweiligen Ausstellung durch Kombination verschiedener Kriterien und Klassifikationstypen gewährleistet, die dem Kontext des Projekts entsprechend als E55 Type [LKD10, S. 89] zugeordnet sind. Da zahlreiche Typen zur Klassifizierung und Einordnung der Ausstellungseigenschaften zu erfassen sind, die es semantisch zu unterscheiden gilt, wurden in der Anwendungsontologie spezielle Unterklassen angelegt, die alle durch das Ereignis der Typuszuweisung bzw. E17 Type Assignment [LKD10, S. 60] direkt mit der Kunstkammer verbunden sind.

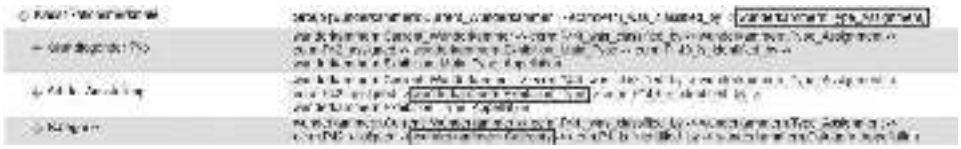


Abb. 3: Ausschnitt der Modellierung der Klassifikationsmerkmale (Ansicht im Pathbuilder)

Zur Klasse E55 Type zählen beispielsweise die als „Exhibition_Type“ angelegte Untergruppe, die sich auf die Art der Einbindung in den Gesamtausstellungs- oder Museumskontext bezieht, also z.B. eine eigenständige Dauerausstellung, ein Teilbereich einer Dauerausstellung, usw. Des Weiteren spielen auch Sammlungsschwerpunkte eine Rolle, die ebenfalls über eine Typuszuweisung mit der Kunst- und Wunderkammer verbunden sind und als Gruppenbezeichnungen erfasst werden, beispielsweise Goldschmiedearbeiten, Tierpräparate oder Mineralien. Die Typuszuweisung wurde auch, soweit sinnvoll, analog zur entsprechenden Gruppe für die historische Kunst- und Wunderkammer modelliert. Dadurch soll verdeutlicht werden, dass bestimmte historische und moderne Sammlungs- bzw. Ausstellungsmerkmale auf derselben Ebene betrachtet werden und somit ein direkter Vergleich möglich ist. Generell wurde zu diesem Zweck das Erfassungsschema der historischen und aktuellen Manifestation hinsichtlich der zu vergleichenden Aspekte analog modelliert.

Eine weitere Untergruppe von E55 stellt die als “Category” bezeichnete Klasse dar. Auf Basis des Vergleichs zwischen historischer und aktueller Präsentation werden drei Hauptzuordnungen bzw. Ausstellungstypen unterschieden, die sich aus der Vorab-

Analyse von über 30 Ausstellungen als sinnvoll erwiesen haben und als Vorschlag verstanden werden sollen: Die der historischen Kunstkammer am nächsten kommende Rekonstruktion, bei der nicht nur eine große Zahl an historischen Objekten, sondern auch Mobiliar und der einstige Ausstellungsraum vorhanden sind, darüber hinaus auch die Anordnung und Präsentation der Objekte soweit möglich nach der historischen Situation erfolgte. Das Gegenteil bildet der als "Konstruktion" bezeichnete Ausstellungstyp, bei dem häufig ideale historische Konzepte[10] als Vorbild dienten, obwohl historische Sammlungen vermutlich nie danach angelegt und derartig streng nach Klassen getrennt präsentiert wurden. Am häufigsten ist der Typ der "Neuaufstellung" zu verzeichnen, bei dem historische Bestände mit (zumeist einer gemeinsamen) Kunstkammerprovenienz wieder in einer Ausstellung zusammengeführt werden und bei der inszenatorische Aspekte wie bei der Konstruktion eine eher untergeordnete Rolle spielen. Tatsächlich aber bewegen sich die Ausstellungen häufig zwischen diesen übergeordneten Kategorien. Die Klasse "Category" bildet mitunter ein Kernstück der Arbeit und stellt eine schlussfolgernde Zuordnung verschiedener Sammlungs- und Ausstellungsmerkmale dar.

Abschließend seien die Überlegungen zur Modellierung und Einordnung der historischen und aktuellen Kunst- und Wunderkammer selbst in das CIDOC CRM erläutert. Ausgehend von der heutigen Situation begreift die Arbeit eine Kunst- und Wunderkammer-Ausstellung nicht als eine reine "Kuratorische Tätigkeit" (E87) [LKD10, S. 113], da noch weitere Komponenten eine Rolle spielen: der konkrete Ausstellungsraum mit all seinen Beschaffenheiten, die Ausstattung, darin befindliche Objekte (die jedoch im einzelnen eine eher untergeordnete Rolle spielen), Objektgruppen und deren Arrangements und nicht zuletzt das Konzept sowie die ggf. zugrundeliegende Ordnung, die alle Komponenten ideell und räumlich miteinander vereinen. Aus diesem Grund wurde die Kunst- und Wunderkammer als E84 Information Carrier angelegt, da sie ein von Menschenhand geschaffener, physischer Träger eines Informationsgegenstandes (E73), darunter fällt z.B. das Ausstellungskonzept, ist [LKD10, S. 110].

[10] Bspw. strikte Einteilung und Präsentation der Objekte nach Artificialia - von Menschenhand geschaffenes, Naturalia - Hervorbringungen der Natur, Exotica - den Dingen aus fernen Ländern, usw. Als erstes museologisches Traktat und Anleitung zur Einteilung einer idealen Sammlung gilt die 1565 verfasste Schrift "Inscriptiones vel tituli theatri amplissimi [...]" von Samuel Quiccheberg, die eine solche Einteilung nach Klassen vorschlägt.



Abb. 4: Aktuelle Kunst- und Wunderkammer Franckesche Stiftungen Halle. Unter “Linked WissKI-Individuals” sind Informationen zur historischen Kunst- und Wunderkammer abgebildet.

Obwohl historische Kunst- und Wunderkammern heute nicht mehr in ihrer ursprünglichen Form existieren, wurde diese Gruppe ebenso als E84 Informationsträger modelliert. Grund dafür ist die Gewährleistung der direkten Vergleichbarkeit der historischen und aktuellen Sammlung bzw. Ausstellung, wobei nicht nur konzeptuelle Aspekte eine Rolle spielen, sondern auch der Raum, das Gebäude oder der geographische Ort, an dem sie sich befinden bzw. befanden. Wie die heutige Ausstellung waren sie ein physischer Träger von Informationen, da sie u.a. die Verkörperung eines bestimmten Weltbildes bzw. dessen enzyklopädischer Abbildung darstellten.

4 Fallbeispiel: Die digitale Erfassung von romanischen Wandmalereien

4.1 Anforderungen und Ziele

Das im Rahmen einer Masterarbeit begonnene und innerhalb des DFG-Projekt ‘Sakralität und Sakralisierung’ angesiedelte Projekt zur digitalen Erfassung von romanischen Wandmalereien widmet sich dem Sammeln und Verfügbarmachen des vorhandenen Wissens und bietet durch die WissKI-Datenbank eine Plattform für interdisziplinäre Forschung und Austausch. Eine Vielzahl der Werke aus dem späten 11. bis frühen 13. Jahrhundert ist in sakralen Architekturen zu finden, wie beispielsweise in Klosteranlagen oder Pfarrkirchen. Leider ist der erhaltene Bestand äußerst gering und oftmals in bedauerlichem Zustand. Umso wichtiger ist die Erhaltung der Werke auch im Sinne der Erhaltung des (immateriellen) Wissens.

Die Besonderheit der ursprünglich den gesamten Kircheninnenraum überziehenden Wandmalereien liegt in ihrem wechselhaften Verhältnis zur Architektur. Letztere ist konstitutiv für die Malerei. Die durch das Architekturelement formal und auch hierarchisch charakterisierte Wandfläche wurde in der Ausmalung als solche berücksichtigt. Das jeweilige Architekturglied gibt den Rahmen und das Format des Bildes vor, und beeinflusst zusätzlich die Wahl des Bildinhalts, ist also sinngebend für die Malerei. Eine weitere Eigentümlichkeit stellt die Deutungsvielfalt mittelalterlicher Bildprogramme dar, welche mehrere, selbst gegensätzliche Lesarten ermöglicht. [St09, S. 268]

Die ehemalige Klosterbasilika St. Georg wurde ab 1109 im benediktinischen Kloster in Prüfening (Regensburg) errichtet und besitzt einen exemplarischen Wandmalereibestand im Ostteil und in der Vierung, welcher von unterschiedlichen Stellen auf die Zeit zwischen 1120 und 1160 datiert wird. In den beiden Nebenchören und an den Vierungspfeilern wurden die Malereien 1897 bzw. zwischen 1907 und 1916 freigelegt und zählen zum romanischen Originalbestand (siehe Abb. 5, Bereiche 1.2, 1.3 und 2.1). Die Malereien im Hochchor sind nach ihrer Freilegung (ebenfalls 1897) komplett neuromanisch übermalt worden, wenngleich sie auf dem Schema der romanischen Ausmalung basieren (siehe Abb. 5, Bereich 1.1).

4.2 Datenschema und Datenmodellierung

Die Erfassung der Architektur sowie die genaue Verortung der Malerei in dieser Architektur stellen die zentralen Anforderungen an die Erfassungsstruktur dar. Entsprechend wird die Unterteilung der Architektur in folgende Einheiten (Gebäudeteile) vorgeschlagen: Architektur ≥ Raumkompartiment ≥ Subkompartiment ≥ Wandteil. Der Grundriss stellt die Basis für eine eindeutige Benennung und Verortung von Architekturteilen eines spezifischen Bauwerks dar. Mit der Durchnummerierung der einzelnen Gebäudeteile auf dem Grundriss können diese konkret referenziert werden. Die Prüfeninger Basilika wurde prototypisch in ihre einzelnen Raum- und Subkompartimente zerlegt und durchnummeriert.

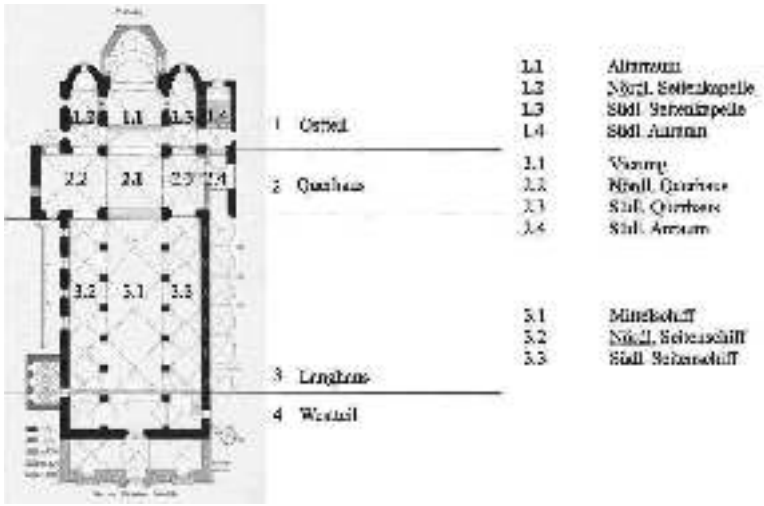


Abb. 5: Nummerierung der Raum- und Subkompartimente im Grundriss von St. Georg

Die Architektur wird als E84 Information Carrier, als Träger der Wandmalerei, aufgefasst, wobei eine Wandmalerei realitätsgetreu einer Wand und nicht einem ganzen Gebäude zugeordnet werden muss. Dementsprechend wurden die Unterklassen E84 Architecture und E84 Part of Architecture gebildet. Während in der ersten Klasse die Architektur mit Adresse und baugeschichtlichen Daten aufgenommen wird, umfasst die Subklasse E84 Part of Architecture die Gebäudeteile (Raumkompartiment, Subkompartiment und Wandteil, siehe Abb. 6).

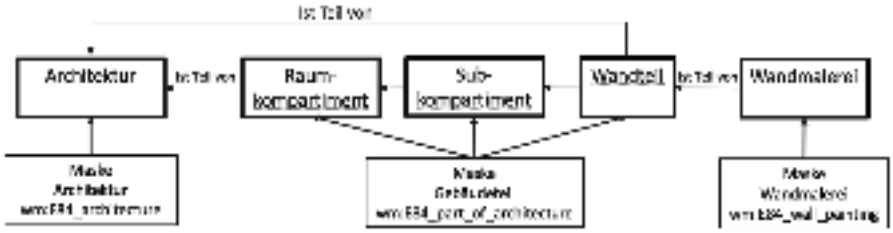


Abb. 6: Architektur, Gebäudeteile und Wandmalerei in der Domänenontologie

Die zu erfassende Wandmalerei selbst ist ebenfalls als E84 Information Carrier aufgefasst und als E84 Wall Painting modelliert. Da es sich bei Wandmalerei nicht um Massenware handelt, sondern jedes Werk einzigartig ist, und aufs Engste mit ihrem Träger verbunden ist, wurde zunächst die Entscheidung getroffen, auch inhaltliche Informationen wie z.B. die Motivik an das E84 Wall Painting zu hängen. Die Formularfelder nehmen schlagwortartig Bildthemen, Figuren und Ornamente auf. Im Freitextfeld wird die diskursive Beschreibung und hermeneutische Auseinandersetzung mit der Malerei erfasst.

Weitere Masken nehmen Informationen zur Bauform (Instanzen der Klasse E55 Type), zu involvierten Personen (Instanzen der Klasse E21 Person) und zur Literatur (Instanzen der Klasse E31 Document). Masken für die mobile Ausstattung innerhalb der Architektur und Gebäudeteilen, sowie für zeitgenössische Referenzdokumente und -objekte sind in der Entwicklung. Eine wichtige, bisher offene Problematik betrifft die richtige Dokumentation veränderter Zustände der Wandmalereien. Um kunsthistorische Fragestellungen zu beantworten, ist es elementar, den romanischen Bestand, sowie auch andere Malschichten darüber oder darunter identifizieren zu können. Ereignisse wie beispielsweise Verputzen, Übermalen, Freilegen, Restaurieren oder Zerstören müssen in Bezug auf den architektonischen Kontext als Ereignisse mitgedacht und dokumentiert werden. Dabei gilt es abzuwägen, ob diese Eingriffe als Ereignisse (Unterklassen von E7 Activity bzw. E12 Production) modelliert werden oder ob die unterschiedlichen Zustände der Wand als zwei Wandmalerei-Einträge aufgenommen werden. Überdies wird derzeit die Differenzierung von Wand als physischem Träger (E84 Information Carrier) und Malerei als konzeptuellem Objekt (E37 Image, Unterklasse von E73 Information Object) diskutiert, wie es in der Datenmodellierung des ebenfalls mit WissKI arbeitenden DFG-Projekts ‘Corpus der barocken Deckenmalerei in Deutschland’ vorgeschlagen wurde.

5 Abschließende Bemerkung

Die Domänenontologien der drei Projekte sind auf die Charakteristika des jeweiligen Forschungsbereiches und deren Forschungsfragen ausgerichtet worden. Sie sind in ihrer Thematik und demzufolge in den zu bearbeitenden Beständen so unterschiedlich, dass sich inhaltlich und somit auch in den erhobenen Daten nur peripher Überschneidungen ergeben. Eine Zusammenführung der Domänenontologien wäre möglich, würde jedoch über die Abstraktion auf die Referenzontologie CIDOC CRM naturgemäß mit einem nicht unerheblichen Verlust der domänenspezifischen Semantik einhergehen. Damit würde der große Vorteil der Datenmodellierung auf Grundlage des CIDOC CRM negiert werden: die Modellierung auf die projektbezogenen Gegebenheiten hin semantisch so genau wie möglich auszuführen und damit die Langzeitinterpretierbarkeit zu sichern.

Literaturverzeichnis

[Bü14] Büttner, Nils: Einführung in die frühneuzeitliche Ikonographie. Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt, 2014.

[HF15] Hohmann, G.; Fichtner, M.: Chancen und Herausforderungen in der praktischen Anwendung von Ontologien für das Kulturerbe. In (Robertson-von Trotta, C.; Schneider, R. Hrsg.): Digitales Kulturerbe. Bewahrung und Zugänglichkeit in der wissenschaftlichen Praxis. KIT Scientific Publishing, Karlsruhe, S. 115-128, 2015.

[Ja16] Jannidis, F.: Grundlagen der Datenmodellierung. In (Jannidis, F.; Kohle, H.; Rehbein, M. Hrsg.): Digital Humanities. Eine Einführung. J.B. Metzler, Stuttgart, S. 99-108, 2017.

[LKD10] Doerr, M.; Lampe, K.; Krause, S.: Definition des CIDOC Conceptual Reference Model Version 5.0.1.; autor. durch die CIDOC CRM Special Interest Group (SIG) (Beiträge zur Museologie 1). ICOM Deutschland, Berlin, 2010.

[St09] Stein-Kecks, H.: Bilder im Heiligen Raum. “An der Zierde deines Hauses habe ich mich erfreut, Herr”. In (Wittekind, S. Hrsg.): Romanik. Geschichte der bildenden Kunst in Deutschland. Prestel, München, S. 265-287, 2009.

VO-SoTeDIT – Value Oriented Sociotechnical Design of the Internet of Things

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 1223

Value-Oriented Socio-Technical Design of the Internet of Things

Nadine Kleine[1], Frank Pallas[2], Max-R. Ulbricht[3], Karsten Weber[4], Martina Zitterbart[5]

Technologien des Internet of Things bzw. Internet der Dinge (IoT) halten zunehmend Einzug in eine Vielzahl von Lebensbereichen. Neben industriellen Kontexten, in denen vor allem die Steigerung von Effizienz, Qualität, Kunden- oder Mitarbeiterzufriedenheit im Mittelpunkt stehen, gilt dies insbesondere auch für Anwendungsbereiche, die eine besondere Nähe zu den NutzerInnen aufweisen und/oder bei denen die soziale Interaktion unterschiedlicher AkteurInnen eine besondere Rolle spielt. Hieraus ergeben sich eine Vielzahl ethischer, rechtlicher und sozialer Fragestellungen (ELSA = Ethical, Legal, and Social Aspects), die – neben rein technischen Anforderungen – bei der Gestaltung solcher Technologien geeignet adressiert werden müssen.

So versprechen Wearables und Gesundheitsapplikationen als ein Beispiel für IoT mithilfe eines dauerhaften Monitorings bspw. neue Formen der Krankheitsprävention, -erkennung und -behandlung, werfen aber gleichzeitig auch ethische Fragen z.B. nach technischer Bevormundung oder rechtliche Probleme des Daten- und Privatsphärenschutzes auf. Im Kontext der Quantified-Self-Bewegung führt die technische Entwicklung zudem zu neuen, technisch vermittelten sozialen Praktiken und Interaktionsmustern ebenso wie zu neuen Geschäftsmodellen, bspw. verhaltensbasierten Versicherungstarife, die u.a. Solidaritäts- und Gerechtigkeitsfragen aufwerfen.

Die auf den nächsten Seiten zu findenden Beiträge nehmen solche Fragen auf. Auf unterschiedliche Weise und aus verschiedenen Blickwinkeln zeigen sie, wie ethische, rechtliche oder soziale Fragen mithilfe von Technik beantwortet werden können oder welche entsprechenden Fragen durch den Einsatz von Technik aufgeworfen werden – jeweils mit Bezug zum Internet der Dinge.

Dabei geht es ausdrücklich nicht um den erhobenen moralischen Zeigefinger, sondern es steht im Vordergrund, dass die Berücksichtigung normativer Fragen bei der Gestaltung des Internets der Dinge zu besserer Technik, Produkten und Serviceleistungen beitragen kann – ELSA, Funktionalität und auch Markterfolg sind keine Antagonisten, sondern können durchaus Hand in Hand gehen.

[1] OTH Regensburg, Institut für Sozialforschung und Technikfolgenabschätzung, Galgenbergstraße 24, Regensburg, 93053, Nadine.Kleine@oth-regensburg.de
[2] TU Berlin, FG Information Systems Engineering, Einsteinufer 17, Berlin, 10587, fp@ise.tu-berlin.de
[3] TU Berlin, FG Information Systems Engineering, Einsteinufer 17, Berlin, 10587, mu@ise.tu-berlin.de
[4] OTH Regensburg, Institut für Sozialforschung und Technikfolgenabschätzung, Galgenbergstraße 24, Regensburg, 93053, Karsten.Weber@oth-regensburg.de
[5] KIT, Institut für Telematik, Zirkel 2, Karlsruhe, 76131, zitterbart@kit.edu

doi:10.18420/in2017_123

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 1225

Smart Home Predictive Analytics – Vernetzung von Menschen und Services im Internet der Dinge durch das Patientenortungssystem QuoLoco und die Plattform opta data one

Jan Heinrich Beinke[1], Pascal Meier[1], Hans-Peter Nickenig[2] und Frank Teuteberg[1]

Abstract: Der demografische Wandel und dessen Auswirkungen sind besonders im ländlichen Raum zu spüren. Die Anforderungen und Bedürfnisse der immer älter werdenden Bevölkerung können häufig nicht durch die vorhandene medizinische und soziale Versorgungsinfrastruktur gedeckt werden. Der vorliegende Beitrag adressiert die Konzeption, Entwicklung und Evaluierung eines Smart Home Predictice Analytics Systems bestehend aus dem Patientenortungssystem QuoLoco und der Plattform „opta data one". In dieser werden unterschiedliche Dienstleistungen nutzerorientiert zusammengeführt und zugänglich gemacht. Durch das Smart Home Predictive Analytics System können ältere Menschen länger selbstständig und selbstbestimmt in den eigenen vier Wänden wohnen bleiben, ohne dabei starke Einschränkungen bezüglich Gesundheits- und Sicherheitsaspekten zu erfahren. Das System wurde mithilfe des MEESTAR-Modells hinsichtlich ethischer Fragen evaluiert und wird aktuell in einer Pflegeeinrichtung getestet.

Keywords: Smart Home Predictive Analytics, Internet der Dinge, MEESTAR-Modell

1 Einleitung und Motivation

Der Verbleib im häuslichen Umfeld im Falle der Pflegebedürftigkeit ist eines der wichtigsten Bedürfnisse der Betroffenen entsprechend des Sondergutachtens „Koordination und Integration − Gesundheitsversorgung in einer Gesellschaft des längeren Lebens" des Sachverständigenrates zur Begutachtung der Entwicklung im Gesundheitswesen [SA09].

In ländlichen, oft strukturschwachen, Regionen bietet eine sektorenübergreifende Vernetzung stationärer und ambulanter Leistungserbringer die Chance ein attraktives Lebensumfeld für die Bürger im Bereich der Gesundheitsversorgung anbieten zu können [SA09]. Im Rahmen einer empirischen Anforderungsanalyse (n = 4350 Teilnehmer) in der Modellregion „Grafschaft Bentheim / Südliches Emsland" wurde festgestellt, dass die digitale Vernetzung aller an der Gesundheitsversorgung beteiligten Akteure sowie die Bündelung von Kapazitäten einen hohen Stellenwert erfährt. Dies kann durch Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) ermöglicht und sichergestellt werden.

Ältere Menschen mit Pflegebedarf haben häufig das Bedürfnis, ihren Lebensabend in den

[1] Universität Osnabrück, Fachgebiet Unternehmensrechnung und Wirtschaftsinformatik, Katharinenstr. 1, 49076 Osnabrück, { jan.beinke; pascal.meier; frank.teuteberg}@uni-osnabrueck.de
[2] I.T.Out GmbH, Ahauser Hof 2, 48527 Nordhorn, HPNickenig@itout.de

doi:10.18420/in2017_124

„eigenen vier Wänden“ selbstbestimmt zu gestalten. Ärzte und weitere Akteure aus dem Gesundheitssektor bestätigen die positive Wirkung, die das Leben im gewohnten häuslichen Umfeld haben kann [Pa15].

Dem Beitrag liegt daher folgende Forschungsfrage zugrunde:

> *Wie kann durch vernetzte Informations- und Kommunikationsstrukturen ein integriertes Smart Home Predictive Analytics für mehr Komfort, Sicherheit und eine präventive Gesundheitsvorsorge für die Nutzer gestaltet sowie den unterschiedlichen Akteuren im Gesundheitswesen sektorenübergreifend zugänglich gemacht werden?*

Der zweite Abschnitt zeigt einen im Rahmen des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung bis 2020 mit über 5 Millionen Euro geförderten Projekts „Dorfgemeinschaft 2.0“ (www.dorfgemeinschaft20.de) entwickelten Use Case auf, in dem durch die Erfassung, Verknüpfung und Auswertung unterschiedlicher Sensordaten sog. Events (z.B. Interventionsmaßnahmen in Krisen- und Notfallsituationen) ausgelöst werden können. Abschnitt drei stellt verwandte Forschungsarbeiten und Projekte vor; in Abschnitt vier wird die zugrunde gelegte Forschungsmethodik beschrieben. Nach der Beschreibung der zentralen Plattformlösung „opta data one“ in Abschnitt fünf erfolgt die Vorstellung des zentralen Artefakts, dem Patientenortungssystem QuoLoco in Abschnitt sechs. Im siebten Abschnitt werden erste Evaluationsergebnisse mit besonderem Fokus auf ethische Fragestellungen vorgestellt. Abschließend werden in Abschnitt acht die wesentlichen Ergebnisse zusammengefasst und diskutiert sowie Limitationen der Arbeit aufgezeigt.

2 Use Case: Smart Home Predictive Analytics

Das folgende fiktive Fallbeispiel dient der Verdeutlichung der Funktionsweise des Smart Home Predictive Analytics System, welches in Abschnitt sechs weiter erläutert wird, und das Zusammenwirken der unterschiedlichen Akteure aufzeigt.

Die 84-jährige Seniorin Gerda Fischer aus Schüttdorf lebt allein in ihrer Eigentumswohnung, die in den 60ern errichtet und Mitte der 90er letztmalig renoviert worden ist. Durch ihre altersbedingten Erkrankungen ist sie motorisch eingeschränkt, sodass bestimmte Tätigkeiten z.B. die Gartenarbeit nicht mehr alleine erfolgen können. Dennoch möchte Frau Fischer weiterhin in ihren „eigenen 4 Wänden“ wohnen bleiben. Bereits in der Vergangenheit führte das zu potentiell lebensbedrohlichen Situationen: Nachdem sie morgens im Bad ausrutschte, wurde sie erst einige Stunden später durch ihren besuchenden Enkel entdeckt, der direkt den Notruf verständigte. Der herbeigerufene Notarzt versorgte Frau Fischer, nachdem die ebenfalls alarmierte Ortsfeuerwehr die Türöffnung durchgeführt hatte. Nach Rücksprache mit ihrem Sohn, der im ca. 200 Kilometer entfernten Amsterdam wohnt, erklärt sie sich damit einverstanden ihre Eigentumswohnung mit moderner Smart Home Technologie auszustatten. Sie entschied sich hierbei für das System QuoLoco. Dafür wurden in ihrem Haus an verschiedenen Stellen (u.a. in Bad, Küche, Schlafzimmer)

Sensoren sowie Aktoren platziert. Des Weiteren befindet sich unter ihrer Matratze eine Sensormatte, die Vitalparameter messen kann. Abgerundet wird dieses durch einen mobilen Sensor, den sie, für andere quasi unsichtbar, an ihrem Gürtel platzieren kann. Diese Sensoren sind z.B. in der Lage im Falle eines Notfalls für verschiedene Eskalationsstufen hinterlegte Kontakte oder den Notarzt zu alarmieren. Diese Vernetzung der unterschiedlichen Akteure erfolgt über die Plattform opta data one der Dorfgemeinschaft 2.0. Auf dieser Plattform hat sie bspw. ihren aktuellen Medikationsplan hinterlegt und zugestimmt, dass dieser zusammen mit den Daten aus der Sensormatte in ihre elektronische Fallakte überführt werden kann. Ebenfalls hat sie zugestimmt, dass der Notarzt im Notfall Zugriff auf diese hat.

Zwei Wochen später rutscht Frau Fischer erneut im Bad aus. Nachdem die Sensoren im Bad festgestellt haben, dass der Wasserhahn seit über 10 Minuten durchgehend läuft und Frau Fischer sich seit ebenfalls seit 10 Minuten nicht mehr im Bad bewegt hat, wird über die Plattform eine Nachricht an den Sohn gesendet. Dieser ruft direkt bei der Nachbarin an, die einen Zweitschlüssel für die Wohnung hat und direkt hinübereilt um nach dem Rechten zu sehen. Glücklicherweise ist Frau Fischer ansprechbar, kann sich jedoch nicht ohne fremde Hilfe mehr aufrichten. Die Nachbarin kontaktiert einen Arzt der Frau Fischer versorgt. Dieser stellt fest, dass durch die frühe Hilfe Schlimmeres verhindert werden konnte. Frau Fischer fühlt sich nun durch diese technischen Assistenzsysteme deutlich sicherer zu Hause – der Sohn ist ebenfalls froh darüber, dass nun schneller reagiert werden kann.

Dieses Szenario zeigt eine von vielen Möglichkeiten auf, die mit dem QuoLoco-System sowie der Plattform opta data one umsetzbar sind. Die Plattform und die angebundenen Systeme werden im Projekt Dorfgemeinschaft 2.0 kontinuierlich (weiter-)entwickelt und evaluiert.

3 Verwandte Forschungsarbeiten und Projekte

Zur Identifikation verwandter Arbeiten und Projekte wurde eine Literaturrecherche durchgeführt, um zum einen den aktuellen Forschungsstand zusammenzufassen, zum anderen praktische Erkenntnisse und Erfahrungen in die Entwicklung der Anwendung einfließen zu lassen und schließlich aktuelle Problemstellungen zu bearbeiten. Die gleichzeitige Untersuchung wissenschaftlicher und praxisnaher Projekte ermöglicht die Betrachtung aus unterschiedlichen Perspektiven.

Peukert et al. stellen in ihrem Beitrag fest, dass die von Smart Home unterstützten Bereiche Komfort, Sicherheit und Gesundheit sinnvoll eingesetzt werden können, um älteren Menschen ein längeres, selbstbestimmtes Leben in den eigenen vier Wänden zu ermöglichen. Als große Herausforderung sehen diese unter anderem die flexible Kommunikation, sowohl zwischen den verbundenen Geräten in unterschiedlichen Räumen als auch der Geräte nach außen [PKK10]. Ein Framework zur Sicherstellung von Datenschutz und Datensicherheit bei der Nutzung von Sensordaten im Smart Home Kontext wird von

Chakravorty et al. vorgestellt [CWR13a]; dabei wird der vollständige Weg von der Datengenerierung bzw. -sammlung, über den Transfer, die Speicherung und Verarbeitung bis zum Teilen bzw. der Vernichtung persönlicher Daten analysiert. Des Weiteren zeigen sie weitreichende Analysemöglichkeiten von anfallenden Smart Home Daten und ihre Bedeutung für unterschiedliche Akteure, u.a. Verwandte und Gesundheitsdienstleister, auf [CWR13b]. Bhole et al. kritisieren den mangelnden Reifegrad bisheriger Smarte Home Analyse Anwendungen [Bh15]. Wich und Kramer haben einen Review bezüglich des aktuellen Standes von Smart Home durchgeführt [WK16]. Sie stellen fest, dass der Erfolg von Smart Home stark von Dienstleistungen und Funktionen abhängig ist, die den Hausbewohnern einen nachvollziehbaren Mehrwert bieten. Eine Möglichkeit wie Datenanalysen zur Verbesserung von Dienstleistungen und somit zur Benutzererfahrung (User experience) beitragen können, wird von Ramparany et al. vorgestellt [Ra16]. Loepthien et al. untersuchten die Entwicklung von preiswerten Sensoren, die Menschen mit einer Beeinträchtigung der Sehfähigkeit in ihrem Alltag unterstützen können [Lo16]. Neben den Forschungsarbeiten konnten weitere verwandte Projekte identifiziert werden. Im Projekt FZI Living Lab SmartHome/AAL ist eine Zwei-Zimmer-Wohnung zur Verfügung gestellt, die mit diversen Sensoren, Aktoren, Gateways und Haushaltsgeräten verschiedener Anbieter ausgestattest ist, um diese in diversen Anwendungsszenarien zu prüfen. Das Zentrum für Angewandte Forschung an Hochschulen für Ambient Assited Living untersucht die Auswirkung von Assistenzsystemen und -Technologien zur Sicherstellung der Teilhabe von Menschen mit Einschränkungen. Im Projekt IDEAAL wird bspw. untersucht wie Menschen durch den Einsatz von AAL-Technologien länger in ihrem gewohnten Wohnumfeld selbstbestimmt leben können. Die Projekte Wohnen mit Zukunft, Aaladin, aal@home, KongiHome, AlterLeben, Mensch-Tec liefern weitere Lösungsmöglichkeiten und Ideen für vernetzte Gebäude- und Versorgungskonzepte.

An diesem Punkt der Verknüpfung von technischer Ausstattung der Gebäude sowie der bereits bestehenden Infrastruktur des Gesundheitssektors setzt das in diesem Beitrag vorgestellte Artefakt im Gesamtprojekt der Dorfgemeinschaft 2.0 an. Es soll den Menschen ermöglicht werden möglichst lange in den „eigenen vier Wänden“ selbstbestimmt leben zu können, ohne dabei auf die notwendige Sicherheit zu verzichten. Es konnte kein System gefunden werden, dass Notfälle aufgrund von Ausnahmeevents bzw. Über- oder Unterschreiten bestimmter vordefinierter Schwellwerte antizipiert, Vorwarnungen treffen kann sowie unterschiedliche Personen bzw. Akteure in vordefinierten Eskalationsstufen benachrichtigt, um das Eintreten eines Notfalls im Vorfeld durch entsprechendes Eingreifen zu verhindern. Des Weiteren konnte ebenfalls auch keine Einbettung einer solchen Anwendung in ein ganzheitliches Versorgungssystem identifiziert werden. Über die entwickelte Plattform opta data one (vgl. Abschnitt 5) können die jeweiligen Akteure des Gesundheitssektors (z.B. Hausarzt, Notarzt, Familienangehörige, Pflegedienste) über Notfälle individuell informiert werden und so die Versorgung sowohl zeitlich (z.B. schnellere Information) als auch qualitativ (z.B. Dokumentation in der Patientenakte, Problembeschreibung) verbessert werden.

4 Forschungsmethode

Die Entwicklung des Smart Home Predictive Analytics System folgt den Richtlinien des Design Science Ansatz nach Hevner et al. [He04]. Dieser Ansatz bietet die Möglichkeit, dass sowohl wissenschaftliche Forschungsergebnisse als auch praxisrelevantes Wissen der adressierten Akteure synthetisiert werden. Durch den kontinuierlichen Prozess von Anforderungsanalyse, Konzeption, Entwicklung und Evaluierung wird das Artefakt dauerhaft den Anforderungen entsprechend weiterentwickelt. Das Projekt befindet sich aktuell in der Evaluierungsphase. Die Anforderungsanalyse erfolgte durch Workshops in Anlehnung an Myers [My09], einen systematischen Literaturreview [Fe06, Vo09] und leitfadenbasierten Experteninterviews [GL10, MN09]. Insgesamt wurden im Zeitraum vom 2. August 2016 bis zum 1. Februar 2017 mit über 10 Partnern aus dem Gesundheitswesen und der Informations- und Kommunikationsbranche in 10 Treffen diskutiert, Anforderungen aufgenommen sowie Use Cases entwickelt. Auf bisherige Publikationen im Kontext von Design Science Research aufbauend, haben Peffers et al. [Pe07] die Design Science Research Method (DSRM) entwickelt. Die DSRM besteht aus den Prozessaktivitäten *Identify Problem & Motivate*, *Define Objectives Of A Solution*, *Design & Development*, *Demonstration*, *Evaluation*, *Communication*. Die Methode verläuft iterativ durch den Rückfluss von *Evaluation* und *Communication* zu *Define Objectives Of A Solution* und *Design & Development*. In dieser Arbeit werden dazu alle Phasen durchlaufen. Diese sind in Tabelle 1 dargestellt und kurz erläutert.

#	Aktivität	Beschreibung
1	Identify Problem & Motivate	Aufgrund unterschiedlicher Beeinträchtigungen müssen Menschen ihr gewohntes Wohnumfeld verlassen, obwohl sie dies unter Umständen nicht wollen.
2	Define Objectives Of A Solution	Menschen soll ein längeres selbstbestimmtes Leben im bekannten Wohnumfeld durch den Einsatz von moderner Informations- und Kommunikationstechnologie ermöglicht werden ohne auf die notwendige Sicherheit und den gewünschten Komfort zu verzichten.
3	Design & Development	Das QuoLoco-System wurde in einem iterativen Prozess konzipiert und entwickelt bei dem die zuvor aufgenommenen Anforderungen umgesetzt wurden.
4	Demonstration	In Testszenarien erfüllte das QuoLoco-System die zuvor aufgenommenen Anforderungen.
5	Evaluation	Das Artefakt wird hinsichtlich der Problemlösungsfähigkeit sowie ethischer, rechtlicher und sozialer Fragen evaluiert.
6	Communication	Das gestaltete Artefakt wird der Öffentlichkeit zugänglich gemacht (z.B. durch diese Publikation, Präsentationen, Messebeteiligungen).

Tab. 1: Aktivitäten des Design Science Ansatzes [Pe07]

5 Plattform opta data one

Um der Anforderung der bedarfsgerechten Versorgung gerecht zu werden, wurde im Rahmen des Projekts Dorfgemeinschaft 2.0 eine zentrale Plattform entwickelt und bereitgestellt, über die verschiedene Dienste im Bereich der sozialen, medizinischen und logistischen Versorgung im Rahmen einer (von Drittanbietern erweiterbaren) Service-Cloud bezogen werden können. Die Ansteuerung, Koordination und Verknüpfung aller Dienstleistungen erfolgt über diese Plattform, die damit alle Dienste zu einer zusammenhängenden sektorenübergreifenden Wertschöpfungskette bündelt. Über diese zentrale IT-Struktur können die verschiedenen Anwendungen bspw. mit Smart Home Sensoren und Aktoren sowie Wearables kommunizieren. Des Weiteren ermöglicht die Plattform bestehende Informations- und Kommunikationsinfrastrukturen verschiedener Akteure zu vernetzen und so ein bedarfsgerechtes, generationenübergreifendes und gesundheitsbezogenes Versorgungsangebot mit individualisierten Sach- und Dienstleistungen zu gewährleisten.

Die Oberfläche der IT-Plattform ist individuell (vgl. Abbildung 1) an die entsprechenden Bedürfnisse der Nutzer anpassbar und über unterschiedliche Endgeräte zugänglich (z.B. PC, Smartphone, Tablet, Smart TV etc.). Die Darstellung der Information erfolgt in der Regel als eingebundenes Widget, das – je nach Anbieter – per Single-Sign-On weitere Einstellungsmöglichkeiten und Informationen bereitstellen kann. Die Widgets ermöglichen den Zugriff auf unterschiedliche Dienstleistungen, Informationen und Produkte aus den vier im Projekt definierten Lebenswelten „Wohnen“, „Mobilität“, „Versorgung“, sowie „Gesundheit und Pflege“.



Abb. 1: Mock-up der Plattform opta data one

Zusätzlich können für die jeweiligen Dienstanbieter und -nachfrager Basisfunktionalitäten aus den Bereichen Kommunikation und Information (z.B. Chatfunktion, Foren, Dashboards oder RSS-Feeds), Bestellverwaltung, Dokumentenmanagement (z.B. Status der Wunderversorgung) sowie Workflowmanagement zur Verfügung gestellt werden. Dieser Beitrag fokussiert das als Widget in die Plattform integrierte System QuoLoco und die Interaktion mit der Plattform und weiteren Dienstleistern.

6 Smart Home Predictive Analytics – Das QuoLoco-System

Die Anforderungsanalyse zeigte auf, dass ein besonderer Bedarf nach einem personenindividuellen, situationsbezogenen und frei konfigurierbaren Notfallmanagementsystem sowohl bei den Akteuren aus dem Gesundheitssektor als auch bei den betroffenen Menschen vor Ort vorhanden ist. Dies kann durch das entwickelte QuoLoco-System ermöglicht werden. Mit diesem kann im Haus und in abgegrenzten Außengebieten (z.B. Garten) auf Basis (mobiler) Aktivsensoren die Position von Personen bestimmt werden. Des Weiteren können Aktivsensoren bspw. in einer Sensormatte genutzt werden, um Vitalparameter zu messen. Dieses sogenannte VitaLog-System ist in QuoLoco bereits integriert. Die Sensormatte wird in oder auf der genutzten Matratze platziert und liefert während der Bettzeit Vitaldaten über Atem- und Herzfrequenz. Neben der Erkennung ob das Bett belegt oder unbelegt ist, bietet VitaLog die Möglichkeit der diagnostischen sowie therapeutischen Unterstützung, um Einschlafphasen, ruhiges bzw. unruhiges Schlafen, Schlafapnoe, Auswirkungen medikamentöser Einstellungen individuell zu messen und zu analysieren. Des Weiteren wird auch das Erkennen von epileptischen Anfällen ermöglicht.

Außerdem kann ein mobiler, unauffälliger Aktivsensor im körpernahen Bereich getragen werden. Als Träger können hierzu Gürtel, Armbänder oder auch Schuhsohlen dienen. Das Auslesen der Messwerte bzw. der Datentransfer wird durch eine USB- oder RS 232-Schnittstelle, den RS 485-Messgerätebus bzw. drahtlos durch eine Infrarot-(IrDA) oder eine Funk-Schnittstelle realisiert. Neben der Datensicherheit, die unter anderem durch verschiedene Verschlüsselungsverfahren sichergestellt wird, ist der Datenschutz von besonderer Bedeutung – es ist individuell vom Nutzer anpassbar welche Daten erfasst, ausgewertet und ggf. an bestimmte Akteure des Gesundheitswesens weitergeleitet werden sollen.

Eine weitere Ergänzungsmöglichkeit ist die Verlegung von großflächigen und intelligenten Sensoren im Fußboden. Allgemein sind für jede Person individuelle Alarmparameter einstellbar, die ohne weiteres Handeln der Person einen Not- oder Hilferuf auslösen können. Über ein übersichtliches Browserinterface können entsprechende Events bzw. Notfallszenarien hinterlegt werden. Dazu werden die in Echtzeit erfassten personen- bzw. objektspezifischen Daten mit den individuell festgelegten Notfall- bzw. Eventparametern sowie Lokalisierungsdaten abgeglichen. Abbildung 2 zeigt die Darstellung möglicher Ereignisse bzw. Objektzustände und Lokalisierungen in QuoLoco auf.

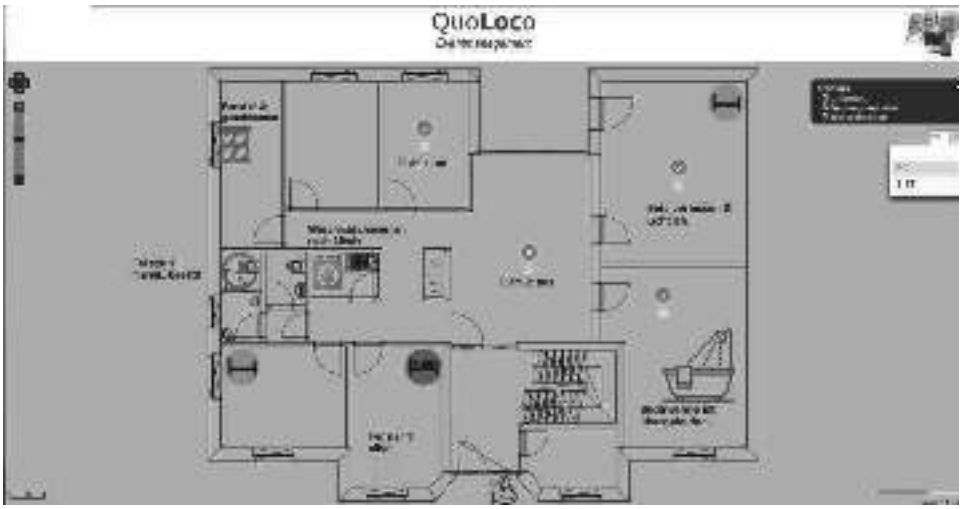


Abb. 2: Übersicht QuoLoco

Dazu können unterschiedliche Messparameter z.B. „Person hat sich seit 30 Minuten nicht bewegt“, „Wasserhahn im Bad ist aktiv, obwohl die Person im Garten ist“, „Pulsfrequenz unter 40 pro Minute“ ausgewählt, verbunden und Grenzwerte definiert werden. Für die definierten Lokalisierungen, Events bzw. potenziellen Notfallszenarien können jeweils unterschiedliche Interventionsmaßnahmen hinterlegt werden. So können bspw. bestimmte Personen (Verwandte, Nachbarn, Hausarzt, Notarzt etc.) informiert werden und/oder die Situation vor Ort oder durch einen (Video-)Anruf überprüft werden. Des Weiteren erhalten diese Akteure, Ereignis abhängig, alle relevanten Informationen wie z.B. den genauen Aufenthaltsort, Allergien und den aktuellen Medikationsplan. Der Medikationsplan und eine digitale Patientenakte können in der Plattform erstellt und gepflegt und bei entsprechendem Notfall mitversendet werden. Die qualifizierte Hilfe bzw. Bearbeitung durch die jeweils verantwortliche Person geschieht unverzüglich nach dem jeweiligen auslösenden Ereignis. Ein Fehlalarm kann dabei durch die betroffene Person schnell und unkompliziert zurückgezogen werden.

QuoLoco[3] richtet sich primär an unterstützungsbedürftige Menschen jeden Alters, die motorisch, sensorisch oder kognitiv eingeschränkt sind, desorientierte Patienten, Menschen mit Hin-/Weglauftendenz und psychisch erkrankte Menschen. Im Fokus steht die Sicherheit der Menschen, bei gleichzeitiger Vermeidung bzw. Reduzierung von freiheitseinschränkenden Maßnahmen.

[3] Eine genaue technische Umsetzung von QuoLoco ist unter https://tinyurl.com/QuoLoco-Informatik17 abrufbar.

7 Evaluation

Durch die individuelle Anpassungsfähigkeit des QuoLoco-Systems in Verbindung mit den Akteuren des Gesundheitssektors (Notärzte etc.) kann für Menschen mit Handicap eine Wohnsituation geschaffen werden, die eine selbstständige und selbstbestimmte Lebensführung in den eigenen vier Wänden auch bei stärkeren Beeinträchtigungen ermöglicht. Als Nebeneffekt des Einsatzes derartiger technischer Assistenzsysteme können die Ressourcen der Ärzte sowie der Betreuungs- und Pflegekräfte zielgerichtet für persönliche Kontakte und Gespräche eingesetzt werden. Im Rahmen des Projekts Dorfgemeinschaft 2.0 wird dieses System aktuell zunächst in einem Show Room getestet, um weitere Erfahrungen zu sammeln und Hemmnisse, die in Zusammenhang mit derartigen Systemen bestehen, abzubauen. Von besonderer Bedeutung sind neben der korrekten technischen Informationsverarbeitung vor allem ethische Fragestellungen. Dazu wird das MEESTAR-Modell (Abbildung 3) genutzt, das zur ethischen Evaluierung sozio-technischer Arrangements in der Pflege- und Gesundheitsversorgung entwickelt worden ist [Ma13].

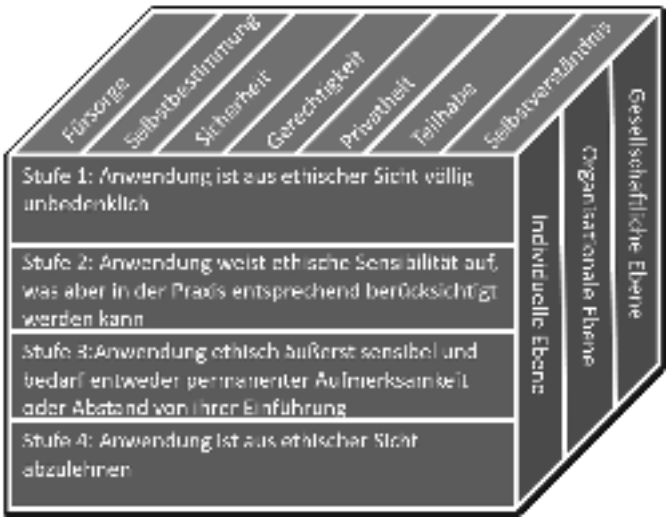


Abb. 3: MEESTAR-Würfel [Ma13]

Anzumerken ist, dass die durch das MEESTAR-Modell gelieferten Bewertungen keine Allgemeingültigkeit und Zeitlosigkeit beanspruchen können [We15]. Des Weiteren sind die Begrifflichkeiten der sieben Dimensionen nicht trennscharf und besitzen Schnittmengen miteinander. Weber et al. merken aufgrund ihrer Erkenntnisse in diversen Workshops mit Fokusgruppen an, dass die Einordnung einer Anwendung in die Stufe 1 im realen Einsatz unwahrscheinlich ist. Der Fokus dieser Evaluation bezieht sich auf die individuelle Ebene. Hinsichtlich des Fürsorgeaspektes ist festzuhalten, dass durch das System eine gewisse Verantwortung und Entscheidungsmacht übernommen wird. Bezüglich dieser Dimension wird die Anwendung als ethisch sensibel (Stufe 2) eingeordnet, da die Übergabe

von Entscheidungsmacht an ein System mit weitreichenden Folgen verbunden sein kann (z.B. bei Ausfall eines Sensors). Bei Betrachtung der Selbstbestimmung sind Einschränkungen festzustellen, da bspw. vom unabhängigen Landesdatenschutzzentrum Schleswig-Holstein gefordert wird, dass das System jederzeit deaktivierbar sein muss [Un10]. Diese Funktion ist implementiert und kann jederzeit genutzt werden. Die Funktionalität steht hier jedoch im Vordergrund, so dass sich Frage stellt welche Folgen eine Einstellung der Erfassung von Vital- und Positionsdaten mit sich bringt. Damit einhergehend wären Fragen bezüglich der Haftung zu klären. Aufgrund dieser Bedenken kann die Anwendung in dieser Dimension in die Stufe 2 eingeordnet werden. Das entwickelte Smart Home Predictive Analytics System hat als eines der zentralen Ziele die Sicherheit in den eigenen vier Wänden zu erhöhen. Des Weiteren wird durch die sukzessive Anpassung an die individuellen Bedürfnisse und Lebenssituation und ständiges Monitoring die Anzahl von Fehlalarmen und Defekten minimiert. Insgesamt kann hier die Einordnung in Stufe 2 erfolgen. Die Privatheit wird zum einen durch die Unaufdringlichkeit des Systems als auch durch den „quasi unsichtbaren" Einbau der Sensoren sichergestellt. Des Weiteren wird durch die zentrale Verarbeitung sichergestellt, dass die nur für die jeweiligen Dienstleistungen notwendigen Daten nach Zustimmung weitergeleitet werden (Einordnung in Stufe 2). Die Gerechtigkeitsdimension fokussiert die Frage nach der sozialen Gerechtigkeit, bspw. der Zugänglichkeit solcher Systeme. Die Lösung wird auf dem freien Markt angeboten und ist damit prinzipiell jedem zugänglich – eine finanzielle Unterstützung seitens des gesetzlichen Krankenkassensystems wird in Zukunft erstrebenswert sein (Einordnung in Stufe 3). Bezüglich der Dimension der Teilhabe ist anzumerken, dass insbesondere durch die Anwendung eine aktive Teilhabe ermöglicht wird. Die Menschen werden nicht in ein neues, betreutes Wohnumfeld gebracht, sondern haben die Möglichkeit in ihrem vertrauten Umfeld weiter aktiv am Leben teilzunehmen. Ein möglicher Umzug in ein neues Wohnumfeld ginge in vielen Fällen mit einem Ortswechsel einher und damit auch ein Verlassen der bekannten Vereins- und Gesellschaftsstrukturen im bekannten Wohnort (Einordnung erfolgt in Stufe 2). In der Dimension des Selbstverständnisses, die „die Bewertung und Wahrnehmung eines Subjektes gegenüber sich selbst" [Ma13] beschreibt, erfolgt ebenfalls eine Einstufung auf Stufe 2, da nur eine unterstützende Maßnahme unter Einwilligung und Einbeziehung der Menschen erfolgt. Eine Verdrängung von Krankheitsbildern bzw. Einschränkungen findet nicht statt, im Gegenteil werden diese thematisiert und versucht diesen entgegenzuwirken.

Zusammenfassend ist bezüglich der Evaluation auf Basis des MEESTAR-Models festzuhalten, dass ein solcher Eingriff in das direkte Umfeld vulnerabler Personen ein sensibles Thema darstellt und besondere Umsicht im Bereich der ethischen und rechtlichen Fragestellungen und Verantwortlichkeiten notwendig ist.

Neben der ethischen Evaluation erfolgt aktuell eine technische sowie ökonomische Evaluation durch den prototypischen Einsatz in einem Pflegeheim. Die mit dem System arbeitenden Betreuungskräfte, inklusive der Ärzte haben nach anfänglicher Unsicherheit und kleineren Anpassungen des Systems ihr Vertrauen voll und ganz ausgesprochen und handeln auch danach. Des Weiteren stehen derzeit weitere Befragungen mit Experten aus den Bereichen Gesundheit, Ethik, Datenschutz, Recht sowie betroffenen Personen an.

8 Fazit und Diskussion

Das in diesem Beitrag vorgestellte Smart Home Predictive Analytics System bestehend aus dem QuoLoco-System und der Plattform opta data one ermöglicht älteren Menschen länger selbstbestimmt in ihrem bekannten Wohnumfeld zu verbleiben, ohne dabei Gesundheits-, Komfort- und Sicherheitsaspekte zu vernachlässigen. Die Entwicklung der Anwendung erfolgte dabei partizipatorisch unter Einbindung der verschiedenen Akteure und Betroffenen sowie der Beachtung bereits existierender Literatur und Projekte. Allgemein ist anzumerken, dass nicht alle Beiträge und Projekte identifiziert werden konnten. Die partizipative Entwicklung der Anwendung sowie die Anbindung an eine vernetzende Plattform wie opta data one ist im Rahmen dieses Beitrages von besonderer Bedeutung.

Eine erste Evaluation der Anwendung erfolgte anhand des MEESTAR-Modells und in einer zweiten Phase während des aktuellen Einsatzes in einer Pflegeeinrichtung. Diese Evaluation soll kontinuierlich fortgesetzt werden, um sowohl ethischen Ansprüchen als auch neueren technischen Entwicklungen und sich ändernden Ansprüchen der Betroffenen sowie den rechtlichen und ökonomischen Rahmenbedingungen gerecht werden zu können. Technische Weiterentwicklungen ergeben sich im Bereich der Verbesserung der Sensorerfassungen, der effizienteren Verarbeitung der Daten und der kontinuierlichen Anpassung an aktuelle Sicherheits- und Datenschutzstandards.

Literaturverzeichnis

[Bh15] Bhole, M.; Phull, K.; Jose, A.; Lakkundi, V.: Delivering Analytics Services for Smart Homes. IEEE Conference on Wireless Sensors Delivering, S. 28–33, 2015.

[CWR13a] Chakravorty, A.; Wlodarczyk, T.; Rong, C.: Privacy Preserving Data Analytics for Smart Homes. In: IEEE Security and Privacy Workshops (SPW), S. 23–27, 2013.

[CWR13b] Chakravorty, A.; Wlodarczyk, T.; Rong, C.: Safer @ Home Analytics : a Big Data Analytical Solution for Smart Homes. In: IEEE 5th International Conference on Cloud Computing Technology and Science (CloudCom), S. 705–710, 2013.

[Fe06] Fettke, P.: State-of-the-art des state-of-the-art: Eine Untersuchung der Forschungsmethode “Review” innerhalb der Wirtschaftsinformatik. In: Wirtschaftsinformatik 48 (4), S. 257–266, 2006.

[GL10] Gläser, J.; Laudel, G.: Experteninterviews und qualitative Inhaltsanalyse. Springer Verlag, 2010.

[He04] Hevner, A. R.; March, S. T.; Park, J.; Ram, S.; Ram, S.: Design Science in Information Systems Research. In: MIS Quarterly 28 (1), S. 75–105, 2004.

[Lo16] Loepthien, N.; Jehnichen, T.; Hauser, J.; Schullcke, B.; Möller, K.: Development of a low-cost senor based aid for visually impaired people. In: Current Directions in Biomedial Engineering 2 (1), S. 727–730, 2016.

[Ma13] Manzeschke, A.; Weber, K.; Rother, E.; Fangerau, H.: Ethische Fragen im Bereich Altersgerechter Assistenzsysteme, 2013.

[MN09] Meuser, M.; Nagel, U.: Das Experteninterview – konzeptionelle Grundlagen und methodische Anlage. Methoden der vergleichenden Politik- und Sozialwissenschaft, S. 465–479, 2009.

[My09] Myers, M. D.: Qualitative Research in Business & Management. Sage, London, 2009.

[Pa15] Paulus, W.: Selbständig zuhause leben im Alter - auf dem Weg zu einer integrierten Versorgung, 2015.

[Pe07] Peffers, K.; Tuunanen, T.; Rothenberger, M. A.; Chatterjee, S.: A Design Science Research Methodology for Information Systems Research. In: Journal of Management Information Systems 24 (3), S. 45–77, 2007.

[PKK10] Peukert, D.; Kampe, G.; Kotterba, B.: Sicheres Wohnen im Alter. Leben in Gemeinschaft. Ambient Assisted Living - AAL - 3. Deutscher AAL-Kongress mit Ausstellung - Assistenzsysteme im Dienste des Menschen: zuhause und unterwegs, 2010.

[Ra16] Ramparany, F.; Thalgott, M.; Bolle, S.; Martin, S.: Exploiting Data Analytics for Home Automation Services. In: IEEE 4th International Conference on Future Internet of Things and Cloud Exploiting, S. 228–234, 2016.

[SA09] Sachverständigenrat: Koordination und Integration - Gesundheitsversorgung in einer Gesellschaft des längeren Lebens. 2009.

[Un10] Date, U. L. für; Schleswig-Holstein, N.: Jurisitische Fragen im Bereich altersgerechter Assistenzsysteme, 2010.

[Vo09] vom Brocke, J.; Simons, A.; Niehaves, B.; Riemer, K.; Plattfaut, R.; Cleven, A.; Brocke, J. Von; Reimer, K.: Reconstructing the Giant: On the Importance of Rigour in Documenting the Literature Search Process. In: 17th European Conference on Information Systems, S. 2206–2217, 2009.

[We15] Weber, K.: MEESTAR : Ein Modell zur ethischen Evaluierung sozio-technischer Arrangements in der Pflege- und Gesundheitsversorgung. Technisierung des Alltags – Beitrag für ein gutes Leben? S. 247–262, 2015.

[WK16] Wich, M.; Kramer, T.: Enrichment of Smart Home Services by Integrating Social Network Services and Big Data Analytics. In: 49th Hawaii International Conference on System Sciences, 2016.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 1237

„Sensing Home“ – Sensordaten für IoT-Produkte im Kontext Wohnen methodisch situieren

Andreas Bischof, Albrecht Kurze, Michael Storz, Sören Totzauer, Kevin Lefeuvre, Sebastian Jakob und Arne Berger[1]

Abstract: Wie können vernetzte Produkte für das „Smart Home“ unter Einbeziehung von Verwenderinnen und Verwendern gestaltet werden? Der Beitrag diskutiert diese Frage unter Rückgriff auf das Konzept „situierter Daten“, das in einer methodischen Kombination von Sensordaten und den sozialen Praktiken der Akteure und Akteurinnen besteht. Zur Umsetzung dieser Methodik wird ein dreiteiliges System aus vernetzten Sensoren, Cultural Probe-Studie und Diskussionsformat präsentiert.

Keywords: Internet of Things, Smart Home, Datensensibilität, Methoden, Cultural Probe

1 Einleitung

Die zunehmende Entwicklung von Internet of Things-Produkten (IoT) führt die Mensch-Computer-Interaktion (HCI) in Anwendungsbereiche, die eine besondere Nähe zu den Nutzern aufweisen. Einer dieser Anwendungsbereiche ist der unmittelbare Bereich des Wohnens, der insbesondere durch „Smart Home“-Produkte vernetzt wird.

Eine Strategie für die erfolgreiche Entwicklung vernetzter Produkte für das Heim ist die aktive Einbeziehung von Verwenderinnen und Verwendern. Im Kontext von kommerziellen IoT-Produkten geschieht die i.d.R. eher im Hinblick auf Akzeptanz vorgefertigter Funktionalitäten. Dabei ist das Potential vernetzter Sensoren und Aktuatoren in Wohnungen, in denen Menschen leben, noch gar nicht grundlegend exploriert. Soziale Praktiken, Konstellationen, Bedürfnisse und kritische Aspekte wie Datensensibilität, die im Kontext der ‚eigenen vier Wände‘ eine herausgehobene Bedeutung besitzen, werden bislang zu selten methodisch-systematisch Bestandteil der Entwicklung und Erforschung von IoT im „Smart Home“.

Interessanterweise ist das „Participatory Sensing“, also die Erfassung und Dokumentation von Umweltbedingungen durch interessierte Bürger auf Basis kostengünstiger IoT-Technologien, bislang nicht auf die Domäne des Wohnens ausgedehnt worden, und konzentriert sich stattdessen bspw. auf Luftverschmutzung oder Strahlenbelastung in Städten. Die Übertragung solcher „Citizen Science“-Toolkits auf das „Smart Home“ ist allerdings nicht ohne weiteres möglich. Denn es ist wenig darüber bekannt, wie Menschen Sensordaten, die ihren intimen Wohnbereich abbilden, verstehen, interpretieren und anwenden

[1] Technische Universität Chemnitz, Professur Medieninformatik, Nachwuchsforschergruppe „Miteinander“, Straße der Nationen 62, 09111 Chemnitz, *vorname.nachname@*informatik.tu-chemnitz.de

doi:10.18420/in2017_125

können und wollen. Wir haben diesen Befund als Ausgangspunkt zur Entwicklung des Konzepts „Sensing Home“ genommen, welches wir im Folgenden in drei Schritten präsentieren. Zunächst gehen wir auf das Problem „situierter“ Daten im Wohnkontext ein, bevor wir das Konzept als System und Methode vorstellen. Abschließend diskutieren wir methodische Implikationen für das sozio-technische Design im IoT.

2 Situierte Sensordaten im „Smart Home“

Durch das Internet der Dinge (IoT) werden immer mehr Endgeräte mit unterschiedlichen Arten von Sensoren ausgestattet. Das betrifft vor allem sogenannte „Smart Home“-Applikationen, die zum Beispiel vernetzte Sensor-Aktuator-Kopplungen benutzen, um Heizungs- oder Klimasysteme automatisch zu regulieren. Dabei werden zunehmend vergleichsweise kleine und günstige Baugruppen verwendet, um andere Objekte und Geräte, wie Kühlschränke oder Briefkästen, ‚smart‘ zu machen. Energieeffiziente, vernetzte Sensoren mit einer Größe von etwa 2 cm³ für einen Preis von weniger als 10 Euro sind bereits in Entwicklung [Le17]. Durch die Fortschritte der Mikrotechnik ist auch die Vision von nur wenigen Millimeter großen Sensoren, dem „Smart Dust“ [Ka99], nicht mehr utopisch.

Obwohl sich Fragen nach Privatsphäre, Sicherheit, Vertrauen, Selbstbestimmung und Kontrolle im Design und der Nutzung ‚smarter‘ Geräte im Kontext von Wohnen in besonderer Weise stellen, sind bislang nur wenige Unternehmungen bekannt, die diese Fragen gemeinsam mit den potentiellen Verwenderinnen und Verwendern erforschen. Zwar gibt es einen Diskurs um Aspekte von Nutzerintegration und Usability [Ja16], oder gesellschaftliche Implikationen des IoT, wie Energieeffizienz oder Sicherheit [Ha17], auch wird die Datenaggregation und mögliche Überwachung durch Geräte wie „Smart TVs“ oder Amazon Echo [Ro17] kritisch diskutiert. Aber nur wenige Projekte zielen darauf, Verwenderinnen und Verwender von IoT-Produkten zu einem kundigen und selbstbestimmten Umgang mit solcher Technik und ihren Daten zu ermächtigen.

Diese Ermächtigung ist unseres Erachtens Voraussetzung dafür, dass die ethischen, rechtlichen und sozialen Implikationen (ELSA) von IoT-Produkten im „Smart Home“ bspw. durch Co-Design-Aktivitäten gemeinsam mit Verwenderinnen und Verwendern erforscht werden können. Damit potentielle Verwenderinnen und Verwender überhaupt zu Co-Designern solcher Produkte werden können, muss ihr Verständnis (data literacy) und ihre Verwendungssicherheit (data fluency) von vernetzten Sensoren also erhöht werden. Dabei ist es vor allem wichtig, nachvollziehen zu können, wie Daten in IoT-Produkten gesammelt, prozessiert und analysiert werden – insbesondere im Hinblick auf die Frage, welche Informationen und welches Kontextwissen über ihr alltägliches Leben dazu gesammelt bzw. korreliert werden können.

Nur wenige, dafür umso ambitionierte Projekte wie Databox [Mo16], designen und erforschen Vorschläge, die die Kontrolle und Einsehbarkeit dieser Daten von proprietären Cloud Services weg zurück zu den Verwenderinnen und Verwendern verschieben. Es be-

steht allerdings eine Forschungslücke in der Frage, *wie* die Kompetenzen zu einem selbstbestimmten Umgang mit Daten aus IoT-Produkten im „Smart Home“ erworben und vermittelt werden können.

[Fi16] haben untersucht, wie vergleichsweise simple Sensordaten aus Wohnungen (Temperatur und Luftfeuchtigkeit) genutzt werden können, um Bewohner von Mietwohnungen über ihren Energieverbrauch und dessen Optimierung zu informieren. Die Studie illustriert beispielhaft, wie solche Daten zwangsläufig „situiert“ [Su07], also unter Hinzuziehung des Alltagswissens der Verwenderinnen und Verwender, sowie der sozialen und moralischen Ordnungen vor Ort [To16] interpretiert werden müssen, um verstanden zu werden. Daran zeigt sich sowohl das kritische Potential solcher Sensoren, wie auch der methodische Schlüssel zur partizipativen Erforschung und Ermächtigung der Verwendung: Einerseits zeigen diese Studien, wie scheinbar wenig intrusiven Sensordaten, wie klassische Umweltdaten, im Kontext des „Smart Home“ ein überwachungskritisches Potential besitzen: an ihnen lassen sich die sozialen Situationen des häuslichen (Zusammen-) Lebens und deren mitunter intimen Implikationen ablesen. Andererseits ergibt sich dieser Kontext nur durch aktive Deutungen und Zuschreibungen der Verwenderinnen und Verwender, im Dialog mit den Forschenden über die Daten. Genau an diesem Zusammenhang knüpft unser Konzept „Sensing Home“ an.

3 Konzept „Sensing Home“

Das Design-Konzept „Sensing Home“ ist ein methodischer und technischer Vorschlag, um den Umgang von Verwenderinnen und Verwendern mit IoT-Sensoren im Kontext des „Smart Home“ zu erforschen und selbstbestimmt zu ermächtigen. Das Designkonzept basiert auf einem modularen IoT-System, einer Tagebuchmethode zur Erhebung und einem Diskussionsformat zur Auswertung und Diskussion der Daten.

3.1 System

Die technische Grundlage bildet eine Sensorkapsel, die ein modifiziertes TI SensorTag [Te17] beinhaltet. Formgebung, Preis und Bauweise der Kapsel entsprechen dem oben dargelegten IoT-Paradigma: klein, günstig und flexibel einsetzbar. Insbesondere die auf der Platine eingelassenen Sensoren (Thermometer, Luxmeter, Hygrometer, Barometer, Accelerometer, Gyroskop, und Magnetometer) repräsentieren die verbreitetsten Sensorfunktionen von IoT-Produkten. Im Gegensatz zu den meisten „Smart Home“-Produkten erlaubt das SensorTag allerdings eine vollständige Kontrolle über die Datenflüsse. Mehrere dieser Sensorkapseln werden über einen Raspberry Pi 3 (als Edge Gateway) mit dem Internet verbunden und ihre Sensordaten an einen Server unserer Forschungsgruppe übermittelt. Die Sensorkapseln und der Gateway können auch mit einem pre-konfigurierten WiFi-Hotspot ausgeliefert werden, um eine sofortige Verwendung ohne weitere Konfiguration zu ermöglichen.

3.2 Probe-Studie

Gemeinsam mit einem iPad werden die Sensorkapseln samt Gateway als so genannte „Probe Pack“ an Verwenderinnen und Verwender in Wohnungen gegeben. Die Software Grafana [Gr17] erlaubt dabei, die Daten sowohl live als auch rückwirkend in Graphen in einer Web-Anwendung darzustellen. Dieses „Probe Pack“ ist im Sinne der „Cultural Probes“ [Ga99] konzipiert Es stellt ebenso alle technischen Komponenten verwendungsfertig bereit, wie auch eine Darstellungsmöglichkeit der Daten und einen Dokumentationsvorschlag, um diese zu analysieren und den Sensoreinsatz zu reflektieren.

Die Teilnehmerinnen und Teilnehmer dokumentieren die Verwendung der Sensoren mit Fotografien (mitgelieferte Kamera), Screenshots, sowie Kommentaren an den Graphen in einem beigelegten Tagebuch. Ziel dieser Form der Erhebung ist die Erzeugung situierter Daten (s.o.), die die technischen Sensordaten kontextualisieren. Wie bereits erwähnt ist es ohne die Perspektive und Einordnungen der Verwenderinnen und Verwender schwer, Sensordaten im Kontext Wohnen zu verstehen [Fi16]. Die Teilnehmer wurden deshalb nicht nur gebeten, für sie sinnvolle Gebrauchsweisen der Sensoren zu explorieren, sondern vor allem die in den Graphen dargestellten Daten auf Basis ihrer Aktivitäten zu analysieren, zu interpretieren und zu annotieren.

3.3 „Daten-Raten“

Die Erfahrungen mit den „Probe Packs“ werden über die Tagebuchstudie hinaus durch zwei Methoden gemeinsam mit den Verwenderinnen und Verwendern reflektiert: Zum einen führen wir individuelle Interviews durch, in denen die Verwendung der „Probe Packs“ im Mittelpunkt stehen. Zum anderen werden die gesammelten Daten in (anonymisierten) Graphen mehreren Verwendern in einem Gruppendiskussionsformat zur Diskussion vorgelegt. Bei diesem „Daten Raten“ stehen die Sinnmachungspraktiken und das situierte Wissen der Verwenderinnen im Vordergrund: Wie interpretieren sie Sensordaten aus dem Wohnkontext? Welche Kriterien werden von ihnen zur Interpretation herangezogen? Insbesondere letztere Methode dient nicht nur der Kontextualisierung der Sensordaten für uns als Forschende, sondern zur Ermächtigung der Verwenderinnen und Verwender, im Umgang mit IoT-Sensoren im „Smart Home“.

4 Methodische Implikationen für sozio-technisches Design

Wir führen derzeit unterschiedlich strukturierte Feldphasen von „Sensing Home“ durch, um das Konzept zu erproben und weiterzuentwickeln. Daher können wir noch keine systematisch ausgewerteten Daten zum Zusammenhang von situiertem Wissen, Verwendungsweisen und daraus folgenden Designimplikationen präsentieren. Abschließend wollen wir jedoch die methodischen Implikationen des Konzepts für sozio-technisches Design des Internets der Dinge diskutieren.

Das Design-Konzept „Sensing Home“ kann unterschiedliche Funktionen für die Absicht der Berücksichtigung ethischer, rechtlicher und sozialer Aspekte erfüllen: Es kann als Erhebungsmethode für Nutzerstudien zur Exploration von Verhalten, oder zur Evaluation von Designvorschlägen ebenso eingesetzt werden, wie als Design-Prototyp, um die Entwicklung von IoT-Produkten partizipativ zu informieren. Für den Rahmen dieses Workshop-Bandes wollen wir die methodische Verquickung von Interesse der Forschenden und Ermächtigung potentieller Verwenderinnen und Verwender zur Diskussion stellen. Wir verstehen „Sensing Home“ als methodisches und technisches Werkzeug zur Ermöglichung einer informierten Diskussion von Forschenden und potentiellen Verwenderinnen und Verwendern. Die drängenden Fragen, welche Daten im Kontext Wohnen wie gesammelt und ausgewertet werden sollten. Anders als bspw. in Expertenworkshops lassen sich ELSA-Fragestellungen zu IoT-Produkten somit ‚bottom up‘ bearbeiten, indem potentielle Verwenderinnen und Verwender das Potential von Sensordaten im „Smart Home“ selbst explorieren und diese Erfahrung explizit reflektieren. Auf dieser Basis lassen sich unterschiedliche Dimensionen des Umgangs mit solchen Sensordaten untersuchen: angemessene, oder ungewünschte Sensoren im Kontext wohnen ebenso wie intendierte oder unintendierte (Nicht-) Nutzungsweisen. Insbesondere die Möglichkeit, durch „Sensing Home“ kritische und zuvor nicht intendierte Verwendungsweisen erlebbar zu machen, ist in unseren Augen ein zentraler Vorteil des Konzepts.

Gleichzeitig gehen damit hohe Anforderungen an die Teilnehmerinnen und Teilnehmer der Probe-Studien einher, ebenso wie für die Forschenden. Das Erarbeiten einer Verwendungssicherheit erfordert auf Seiten der Verwenderinnen und Verwender intrinsische Motivation sowie einen gewissen „Forschergeist“, der mit Maßnahmen wie dem Dokumentationstagebuch zwar stimuliert aber nicht ersetzt werden kann. Forschende sollten sich zudem bewusst sein, dass diese Form der partizipativen Erarbeitung von situiertem Wissen eine hohe Involviertheit und Kontaktdichte mit den Teilnehmerinnen und Teilnehmern in deren Wohnumfeld erfordert. Das betrifft nicht nur die Einrichtung der Devices und die Auswertung durch Gesprächsmethoden, sondern auch Praktiken des Debuggens und zwischenzeitliche Nachfragen. Zudem impliziert das Konzept eine hohes Bewusstsein für Forschungsethik und methodische Kontrolle: Die Sensordaten aus den Wohnungen sind den Forschenden zu jedem Zeitpunkt zugänglich, was eine besonders hohe Datensicherheit und getrennte Speicherung von Sensordaten und kontextualisierenden situierten Daten erfordert.

Literaturverzeichnis

[Fi16] Fischer, J. E., Crabtree, A., Rodden, T., Colley, J. A., Costanza, E., Jewell, M. O., & Ramchurn, S. D. Just Whack It on Until It Gets Hot: Working with IoT Data in the Home. In: Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, S. 5933–5944, 2016.

[Ga99] Gaver, B., Dunne, T, and Pacenti, E.: Design: cultural probes. interactions 6.1, S. 21-29, 1999.

[Gr17] Grafana. The open platform for beautiful analytics and monitoring. https://grafana.com/ 14.05.2017.

[Ha17] Hargreaves, T., Wilson, C., & Hauxwell-Baldwin, R. Learning to live in a smart home. Building Research & Information, S. 1-13, 2017.

[Ja16] Jakobi, T., Ogonowski, C., Castelli, N., Stevens, G., & Wulf, V. Das Zuhause smart machen–Erfahrungen aus Nutzersicht. Mensch und Computer 2016-Tagungsband, 2016.

[Ka99] Kahn, Joseph M., Katz, Randy H., and Pister, Kristofer SJ. Next century challenges: mobile networking for "Smart Dust." In Proceedings of the 5th annual ACM/IEEE international conference on Mobile computing and networking, S. 271-278, 1999.

[Le17] Lemme, H. Energieautarke Sensoren: Einbruchsalarm mit Solarstrom. Elektronik, 4/2017, S. 26-27, 2017.

[Mo16] Mortier, R., Lodge, T., Brown, T., McAuley, D., Greenhalgh, C., Zhao, J., Colley, J.. Personal Data Management with the Databox: What's Inside the Box? Proceedings of the 2016 ACM Workshop on Cloud-Assisted Networking, S. 49-54, 2016.

[Ro17] Rozenfeld, M. Can Amazon's Echo Device Help Solve Murders? Retrieved from http://theinstitute.ieee.org/ieee-roundup/blogs/blog/can-amazons-echo-device-help-solve-murders 31. Janar 2017.

[Su07] Human-machine reconfigurations: Plans and situated actions. Cambridge University Press, 2007.

[Te17] Texas Instruments. IoT leicht gemacht. http://www.ti.com/ww/de/wireless_connectivity/
sensortag/ 14.05.2017.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 1243

User-Centric Secure Data Sharing: Exploration of Concepts and Values

Jan Grashöfer[1], Alexander Degitz[1] and Oliver Raabe[2]

Abstract: Data we handle and generate when using Internet-based services reveals information on our behavior and values. Access control to this data most often lies in the hands of service or storage providers. With regard to the value ladenness of data sharing in particular, we propose to shift the focus back to the user by introducing the concept of User-Centric Secure Data Sharing (UC-SDS). The UC-SDS approach aims at combining technologies and methodologies from the fields of secure data sharing, secure data outsourcing and value-oriented design. In this paper, we discuss design alternatives using the example of car telemetry data, considering their value interdependencies with particular emphasis on the legal context. Our work indicates that through combination of available building blocks, a higher level of user-centricity in access control is possible than we are used to today.

Keywords: value-oriented design; secure data sharing; secure data outsourcing

1 Introduction

In the light of mobile and cloud computing, social networks and the Internet of Things, we use an increasing amount of Internet-based services every day. Every time we use such services, we give away significant amounts of personal information. Not only the data we submit, but also our access and usage patterns reveal who we are. Data and usage patterns represent our values, thoughts and views. While services, of course, require some user data to provide their functionality, a major research question can be stated as follows: *To which degree can we technically restrict the use of data and observable usage patterns to only those services that are authorized by the user him or herself?*

In this paper, we outline the concept of a User-Centric Secure Data Sharing (UC-SDS) approach. UC-SDS aims at providing the user with a maximum of control over his or her data by reducing necessary trust in third parties. Following the idea of user-centricity, we assess the available technical building blocks with respect to their underlying trust dependencies. We discuss technical means for *Secure Data Sharing (SDS)* and *Secure Data Outsourcing (SDO)*, including methods to hide the patterns of data queries and cryptographically enforced access control, indicating that a much higher level of access control is possible than we are used to today. Furthermore, the methods discussed allow for a separation of data storage from service provisioning and thus significantly contribute to data portability.

[1] Karlsruhe Institute of Technology (KIT), Institute of Telematics, {jan.grashoefer, alexander.degitz}@kit.edu
[2] Karlsruhe Institute of Technology (KIT), Research Group for Information Technology Law and Legal Informatics, raabe@kit.edu

doi:10.18420/in2017_126

However, there is a price tag associated to user-centricity: The downside might be that a user cannot bear the costs or the workload. While a loss of data can cause a loss of reputation and face, a slow service might decrease the service accessibility or the user's satisfaction. Thus, a second research question needs to be addressed: *In which way is User-Centric Secure Data Sharing influenced by values – and how could those be balanced by a user?*

In this paper, we start a discussion on the value ladenness of the UC-SDS approach. Besides individual values, we consider in particular the legal context, reflecting a consensus on societal values. The UC-SDS approach aims at facilitating the economic advantages of modern cloud technologies, without requiring the user to give up data sovereignty.

Our work on UC-SDS was inspired by the concept of user-centric identity management. Shifting the focus towards the user is also a major goal of the *"Solid"*[3] project at MIT led by Tim Berners-Lee. Solid aims at providing "true data ownership" by implementing Web Access Control (WAC)[4]. While the project is in an early stage, protecting stored data using cryptographic mechanisms seems to be out scope for Solid.

Based on a data sharing scenario for telemetry data collected by cars, we will explore the design space of UC-SDS. In recent work, Sookhak et. al. present an approach [So17] that makes use of Proxy Re-Encryption, but the suggested architecture relies on the storage provider to enforce logical access control. Thus, the storage provider is also able to obtain access to the plaintext of data encrypted by the user.

The UC-SDS approach aims at combining technologies and methodologies from the fields of SDS and SDO, considering societal and individual values in the design process as shown in Figure 1.

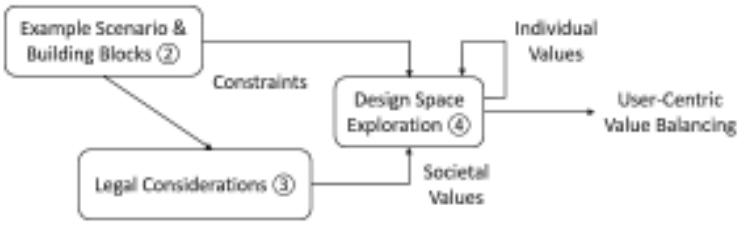


Fig. 1: Structural overview (including section numbers).

2 Example Scenario & Building Blocks

In this section we will sketch a real-world scenario that is used in the course of this paper to motivate, illustrate and discuss the implications of UC-SDS. Furthermore, we will introduce the fields of research that provide the technical building blocks for User-Centric Secure Data Sharing, namely *Secure Data Sharing (SDS)* and *Secure Data Outsourcing (SDO)*, and present related work with respect to *Value-oriented Design*.

[3] https://solid.mit.edu/

[4] https://github.com/solid/web-access-control-spec

2.1 Example Scenario

A frequently considered case yielding the necessity to share data can be found in the field of smart vehicles. A modern car is able to generate extensive amounts of telemetry data per ride that can be used in numerous contexts. Assuming a state-of-the-art electric car, we will consider four actors that are interested in the car's telemetry data:

Manufacturer The manufacturer of the car monitors cars in use to allow target-oriented product improvement. Therefore, the manufacturer is mainly interested in technical data like statistics about motor behavior or battery condition. Additionally, further consumer-oriented services like on-demand maintenance could be implemented based on that data. But, the gathered telemetry data might as well allow competitors to deduce business secrets by in-depth monitoring a car's behavior. Thus the manufacturer is also interested in keeping sensitive subsets of data confidential.

Insurance Company There is in upcoming interest in car telemetry data by insurance companies: Usage Based Insurance (UBI) is a concept that couples insurance rates to usage patterns, rewarding cautious behavior [Ha14]. Consequently the insurance company has a demand for car telemetry data to track the driving profile of their customers.

Power Supplier Another actor interested in car telemetry data might be a power supplier. Approaching smart-grid technologies, controlling and predicting energy demands becomes a key feature of modern power distribution networks [Gu13]. Following the Vehicle-to-Grid (V2G) approach [KT05], electric cars can be used to handle load peaks. In this context information about the usage profile of these cars is of particular value for power suppliers.

User Finally, we refer to the driver of a car as the *user*. The possibility of profiling a user with the help of telemetry data gathered by his or her car causes privacy concerns. Generating all the data discussed before, the user becomes the data subject (c.f. Section 3) and thus, has a fundamental interest in controlling the data, as it implicitly represents his or her individual values. Beginning with location information and driving style up to number of passengers or approximate payload, an extensive amount of private information could be revealed allowing to deduce personal preferences.

The described actors can be interpreted in terms of roles. For example, a car might be used by multiple drivers and usually a plethora of manufacturers is involved in its production. To reduce unnecessary complexity, in the following we will consider the described actors as single subjects. Furthermore, we do not distinguish between driver and owner of a car.

The prevailing approach to gather the necessary data is for each actor to deploy custom-built technologies. Obviously, the preferred way to satisfy all information demands would be to use a standardized built-in system to collect the data. Although technically diverse, the current implementations have in common that they leave the user with little to no control on the data he or she generated. To satisfy the demands of all involved actors, there are essentially two requirements: First, the data has to be stored in a standardized way establishing interoperability. Second, a proper way to share data between the actors has to

be found, while providing the user with a mechanism to control access to the data. The latter aspect is the one we address in this paper.

2.2 Secure Data Sharing

While access control is required for confidentiality and integrity demands, data needs to be shared to allow IT-based collaboration. Conventional data sharing approaches entrust the Storage Provider (SP) to perform logical access control. In case these SPs are considered as *honest but curious* attackers (c.f. Section 4.1), they cannot be trusted to perform access control correctly. In context of Secure Data Sharing (SDS) cryptographic mechanisms are used to enforce access control in untrusted environments, ensuring that only the owner and the members of a sharing group can access the data [KH16, Th14].

In general, SDS offers two basic operations: First, granting access to a resource and second, revoking access to a previously accessible resource. Granting access means to allow decryption, while revoking access corresponds to preventing decryption in the future. Thus, access revocation requires to re-encrypt resources.

A concern with regard to revocation are so called *rollback attacks*, in which a former grantee restores a prior state so that he or she regains access to the resource. Although preventing this attack in general is complex [Li04], the attack vector can be addressed by periodic signatures that indicate freshness in case of only a single writing user.

For the implementation of SDS we consider three different cryptographic mechanisms. Whereas the more advanced cryptographic mechanisms provide additional functionality, they usually come with a performance trade-off [KH16].

Traditional Cryptography Well-established SDS protocols (e.g., [Go03]) make use of common cryptographic primitives like symmetric and asymmetric encryption. These traditional approaches rely on trusted Public Key Infrastructures (PKI) to verify the authenticity of participants and to allow key distribution. All cryptographic operations are carried out on the clients, while the PKI usually represents an external trust anchor.

Proxy Re-Encryption (PRE) Like the traditional approach, PRE [At06] relies on a trusted PKI, but allows to delegate re-encryption of ciphertexts to a proxy that will not be able to access the plaintexts.

Attribute Based Encryption (ABE) While ABE [SW05] relies on a trusted PKI as well, it allows to encrypt data with respect to attributes, which potentially apply to multiple users, resulting in ciphertext that can be decrypted by groups of users. Participants need to trust Attribute Authorities (AA), responsible for attribute binding. Advanced implementations also include PRE for attribute revocation [YJ14].

When talking about SDS, a common implicit assumption is that the data under consideration is stored and eventually accessed multiple times. But given todays high-volume and fast-moving data, processing data streams directly has become a considerable alternative. Stepping back from the afore mentioned assumption, the Data Stream Processing paradigm represents another domain of SDS. In this context, enforcing access control for streamed data is a hot topic of current research [Th16].

2.3 Secure Data Outsourcing

Secure data outsourcing has been an active research topic for the last two decades. The underlying question is: *How can encrypted data be queried efficiently?* An early approach which addressed this problem is called Searchable Encryption (SE) [Ka12]. This approach has the data encrypted and still has fast access times on data, but it comes with two drawbacks: First, this approach only works with a deterministic encryption scheme, which is vulnerable to inference attacks as described in [Na15]. Since the same keyword is encrypted to the same ciphertext, an attacker can analyze the frequency of equal ciphertexts and compare the frequency to public data, to infer plaintexts. Second, SE approaches leak access patterns of data. Similar to the description above, a more powerful attacker, who has access to the data and the network traffic to and from the SP, can also analyze the frequency of queries and responses of a certain data set and perform an inference attack on this information.

These two drawbacks combined lead to more recent approaches, which use an encrypted index structure that is able to work with probabilistic encryption schemes and that obfuscates access patterns with mechanisms like data node shuffling and the retrieval of dummy elements [St13]. This is done by a mediator server, which all database queries are directed to. In these approaches, the mediator is the only entity that directly communicates with the database. The mediator has to be hosted in a trusted environment to ensure that the access patterns of queries are hidden. While these mechanisms add an overhead in access times and network traffic, they also provide a much higher level of confidentiality.

2.4 Value-oriented Design

To provide a value-oriented service, the consideration of values already has to start in the design phase. It is difficult to express values like power, self-direction and benevolence in well-defined functional or non-functional requirements during the design phase. An additional challenge is that almost all software products carry value conflicts between different stakeholders.

One approach to bridge the gap between values and system requirements or technical properties was proposed by Van de Poel [VdP13]. Based on value-sensitive design [Fr96], he suggests an intermediate layer between values and system requirements, which is called norms. Norms instantiate values in form of individual or societal restrictions to a certain scenario. In this paper we distinguish between societal values, e.g. inherent to the law (c.f. Section 3), and individual values like “self-direction” or “benevolence” (c.f. Section 4.4). By analyzing the legal framework, we consider societal values stated in the law. In addition, we use a top-down approach to exemplify how individual values (based on the refined value model of Schwartz [Sc12]) affect our proposed concept. Similarly to [Ne16], we outline which normative elements can be expressed through which design alternatives for an example scenario. By making explicit how the proposed normative elements affect the design decision, we can visualize possible value conflicts.

3 Legal Considerations

The societal values to be considered with regard to UC-SDS are related to the question by which legal means a *"European data economy"* could be developed. The automotive sector could serve as a blueprint, as regulatory efforts are already advanced. In this paper we use the German law as a starting point to consider national and European legislation. The most urgent preliminary question is *"who should have the right to process and monetize vehicle-related data"* [Ho15, p. 359]. Recent efforts[5] show that the European Commission evaluates the possibilities for addressing the issue of access to sensor data.

3.1 Economic Perspective

From an economic perspective the Commission discusses the justification of a legal framework for a **"Data Ownership"[6] versus an "Access Right"** based on competition law. Concerning **"Data Ownership"** it is mostly assumed that due to the absence of physicality there is no ownership or property right of data under civil law [BJ16, p. 413]. Nevertheless, some legal scholars assume a similar right for the vehicle sector with regard to Section 303a German Criminal Code (StGB) [Vo16, p. 6]. This assumption of ownership is questionable. If data could be owned, the owner would have exclusive control over the data. However, vehicle-related data is not only of technical nature, but also contains information about the person using a vehicle [Ku16, p. 510]. While Buchner argued that vehicle-related data would be "ephemeral and therefore not relevant for data protection law" [Bu15, p. 374], the argument does not hold for modern big data applications. Hence, privacy has to be considered in terms of *data protection law* (see Section 3.2). This should apply, even if a driver cannot be identified, to avoid restraints upfront [Ho15, p. 361]. Taking into account that data ownership would be transferable, while the data subject remains the same, one can argue against a *"Data Ownership"* that privacy is a fundamental right and, ultimately, part of the human dignity (Art. 1 para. 1, Art. 2 para. 1 German Constitution). From a legal point of view it is not possible to trade-in the right to informational self-determination or sell exclusive rights concerning personal data. This would involve a possibility to waive the right of human dignity, which is not foreseen under the German Constitution. As data subjects have the right of erasure, "Data Ownership" would also be constantly limited and subject to a pending condition of revocation. Additionally the distinction between personal and non-personal data is not always clear and more often even fluid over time. Overall, the concept of "Data Ownership" is inappropriate, in order to achieve legal certainty in the data-driven economy.

This conclusion does not answer the question whether and how a legal framework concerning an **"Access Right"** based on competition law could be established. The European General Data Protection Regulation (GDPR) encompasses the protection of privacy as well as the *"free flow of data"* as regulatory targets. The Commission remarks that "privacy concerns

[5] Commission Staff Working Document on the free flow of data and emerging issues of the European data economy. Accompanying Communication Building a European data economy COM(2017) 9 final.

[6] The "Ownership"-metaphor can be misleading: Here, the term is used in the legal sense of physical possession.

are legitimate concerns but should not be used as a reason to restrict the free flow of data in an unjustified way. The GDPR fosters the necessary trust for data processing and is the foundation for the free flow of personal data in the EU"[7]. Considering this background, another relevant topic is the *"right to data portability"* in Art. 20 GDPR. According to the common understanding, this right was established to pursue competitive purposes in order to avoid "lock-in-effects", corresponding to antitrust law, or a monopolistic collection of data [Pa17, on Art.20 Rn.6]. As Competition Law already regulates market-dominant ventures, the remaining question is: How to adapt the existing competition law framework to modern data sharing technologies.

During the consultation process started by the EU-Commission[5], access to and re-use of personal data with respect to data generated in cars are part of the legal discussion. The issue of access to in-vehicle data has been discussed in the framework of a Cooperative Intelligent Transport Systems (C-ITS) stakeholder platform[8]. Primarily, a set of guiding principles for access to in-vehicle data have been developed, including: **"fair and undistorted competition"**, prior **"consent"** of the data subject, **"standardized access"** and **"free choice"** of the data subject. Moreover relevant to our approach it is also recommended to foster the principle of *"Privacy by Design"*, as it has been requested in German literature [KW15, p. 387]. At the moment discussions focus on a data server platform in an *"Extended Vehicle Concept"*, while the control of the access conditions and extent of the in-vehicle data is in the hands of the manufacturers. An alternative concept proposed another implementation of the data server platform, managed and controlled by a neutral third-party. By incorporating the established principles in the design of UC-SDS, we aim at providing another option.

3.2 Data Protection Perspective

The main requirements of data protection law which must be met by UC-SDS should be based on the GDPR's key principles. With regard to access to data the GDPR takes – as already set out above – also aspects of economic competition into account. Hence, interpretation of the protective provisions of the GDPR in the context of technical access control must also take aspects of competition as well as data protection into due consideration.

Therefore, the interpretation of the relevant key principles – especially the principle of **"Data Minimization"** as set out in Art. 5 GDPR and the requirement of **"Privacy by Design"** as laid out in Art. 25 GDPR – must aim at reciprocal optimization of competition as well as data protection. A technology design based on the principle of data minimization has been interpreted in literature as a right to "data-free mobility" [Ku16, p. 510]. This would mean, that from a data protection point of view only small amounts of data could be transmitted to the data serving platform and transmission must be done under consideration of possible means of pseudonymization. In the past, methods of data minimization for connected cars, like frequent change of pseudonyms, did not function sufficiently well [Ha15, p. 371]. While

[7] Communication from the Commission to the European Committee of Regions, "building an European data economy", COM(2017) 9 final, Brussels, 10.1.2017, p. 5.

[8] See `http://ec.europa.eu/transport/themes/its/c-its_en`.

the wording of Art. 5 GDPR indicates the necessity to prevent the collection of personal data, a way of data minimization could also be seen in the possibilities of encryption. By encrypting data and providing cryptographic access control to the consumer, privacy risks may be minimized, while competitors' interests in using this data may be balanced out. Additional problems discussed in literature regarding *"responsibility"* for compliance with data protection regulations [Ro16, p. 111 f.] are far easier to solve as well. Since the platform operator himself does not have access to the data, responsibility to fulfill data protection obligations falls to the service providers accessing the data.

When it comes to the technical design, the most serious problems encountered refer to **"transparency"** and **"consent"**, which is necessary to legitimate the data processing in most cases. Some experts consider the actual regulations concerning data protection information as insufficient to provide the person, to whom the car is registered to, and the driver with the required *"transparency"* about current collection and processing of personal data [Ro16, p. 111 f.]. Even if this requirement is narrowed down to the knowledge of facts that are crucial for the data subjects decision, whether or not to give consent for processing of personal data, it is still difficult to guarantee sufficient information as required in Art. 7 GDPR [Bu15, p. 372].

3.3 Access Control Approach

We showed that the regulatory approach of an "Access Right", in contrast to the idea of "Data Ownership", could in principle provide a better balance between economic regulation and data protection from a legal perspective. Furthermore, we outlined that, in the light of an upcoming "European data economy", the classical Data Minimization paradigm is contradictory to the concepts of Big Data. With respect to the potential of Big Data applications, we suggest shifting from Data Minimization towards user-enforced cryptographic access control, as a possible compromise. Following this approach, competition as well as data protection concerns could be brought together in a well-balanced manner. In the following, we will incorporate the previously described legal key principles, representing a societal canon of values, into the design of UC-SDS by considering them in the process of establishing technical requirements.

4 UC-SDS Design Space Exploration

In this section we specify the UC-SDS approach by outlining its foundations. Then, we analyze the design space of UC-SDS with respect to the technical building blocks introduced in Section 2. Finally, we provide an example on how design decisions can be supported by considering individual values.

4.1 Foundations

Legal Framework As shown in Section 3, from an economic perspective, UC-SDS has to guarantee *fair and undistorted competition*, avoiding data access by an omniscient

market role (e.g., a storage provider). Hence, data should be encrypted. Due to his or her fundamental rights regarding *data privacy*, the consumer should be in the sole position to decide who should have access to the vehicle-data by performing cryptographic access control. Ensuring this could also avoid a targeted hindering of competitors (Section 4 Nr. 10 UWG) or a violation of antitrust law [Ho15, p. 365]. Finally, enforcing interoperability also allows the consumers' *free choice* to select services.

Additionally, the UC-SDS approach is able to bring together competition and data protection concerns. With regard to the mandatory withdrawal of *consent*, cryptographic access control has an advantage compared to conventional methods (e.g., [Bu15, p. 377]), because withdrawing consent can be realized straightforward by revoking the access permissions. Since withdrawal of consent concerns only future processing of data, the legal principles are duly taken into account. Another requirement that can be deduced for an UC-SDS implementation is that giving consent can be done separately for each service. Furthermore, the user must be able to separately withdrawn consent in a similar way [Ku16, p. 514].

Data Model In context of SDS, the data model determines the required granularity of the SDS mechanism to be applied. The *granularity* describes the level of access control enforcement, i.e. what is considered as the smallest entity to be controlled. Thus, we distinguish three elementary forms of data: First, *data blobs* with arbitrary internal structure, e.g., files, representing the most common use case for SDS. In case of files, external structuring like directories has to be considered as well. Second, *databases* containing multiple records of structured data. In case of databases we assume a fixed scheme providing the basis for access control policies. Finally, data can be provided in form of continuous *data streams* that are not necessarily stored but processed on the fly.

In this paper we will discuss UC-SDS based on the scenario described in Section 2.1. Given the structure of telemetry data, the generated data might be processed following the data stream paradigm or stored and queried using a database. Considering varying actors, e.g., due to switching the insurance company or power supplier, we choose to support access to historical data by using a database as an example.

Attack Model In this paper we consider an *honest but curious attacker*, who has access to the network connections between all participants and to the physical data, as it is stored on the server of one of the participants. This includes the actors or the Storage Provider themselves as possible attackers.

Requirements The following *security requirements* must be fulfilled by any solution to be considered for the UC-SDS approach: **(S1)** An attacker can never see the plain text of outsourced data. **(S2)** At any given time, actors can only access the data they are allowed to access. **(S3)** Attackers should infer as little as possible through access patterns.

In addition, the following *functionality requirements* must be met: **(F1)** A user must stay in control of his or her shared and outsourced data. **(F2)** It must be visible which data is shared with whom. **(F3)** Access rights to data must be cryptographically granted and revoked. **(F4)** Data must be accessible to actors, independent of the users availability.

4.2 Secure Data Sharing Aspects

When it comes to Secure Data Sharing the basic question to answer is: *Whom do we need to trust?* The core of a Secure Data Sharing approach is its protocol, which defines how access and key management interactions are carried out. The protocol codifies different roles and their relations based on the underlying cryptographic primitives. Although the resulting architectural designs may vary for different protocols, the underlying trust anchors are determined by the cryptographic mechanisms in place. It is up to the designer, where to cast the anchors by composing the protocol. Therefore, we will assess the feasibility of different SDS approaches by considering the trust models inherent to the available cryptographic primitives:

Traditional Cryptography Using traditional cryptographic mechanisms we can fulfill the first two security requirements defined in Section 4.1: By encrypting the users' data we ensure that an attacker cannot access the plaintext (S1). By sharing the encryption key, we can grant access to a chosen subset of actors (S2). To revoke access, the user needs to re-encrypt the data and share the new key. In context of the telemetry scenario, the car itself is able to detect rollback attacks by monitoring the freshness of the data. The functional requirements (F1) and (F2) need to be addressed by providing a sufficient management interface to the user. (F4) requires the actors to be able to access the outsourced data regardless of the user's availability. This can be realized by using encrypted keys, called *Lockboxes* [KH15], which are stored together with the data. The main drawback of this concept is the fact that the user's device is responsible for re-encryption. In case of large amounts of telemetry data, this could be a time-consuming task.

Proxy Re-Encryption (PRE) To increase the flexibility in case of re-encryption, we consider two different approaches: First, the user explicitly determines the time of re-encryption and provides the necessary resources. Second, re-encryption could be outsourced. Using PRE, the proxy would not be able to access the plaintext, satisfying security requirement (S1). In contrast, the security requirement (S2) as well as the functional requirements (F1) and (F2) might be violated: A malicious proxy, could suppress re-encryption requests of the user. Consequently, the user has to put some level of trust into the re-encryption proxy. With respect to the scenario described in Section 2.1, two options for mapping the proxy-role to participants seem reasonable: **(P1)** Trusting the *service provider* to execute re-encryption. **(P2)** Trusting the *manufacturer* to execute re-encryption. As the SP is assumed to be honest but curious, (P1) complies with the attacker model in place. Only in case the SP cooperates with malicious actors, using PRE would open an attack vector. Hence, outsourcing re-encryption to the manufacturer (P2) seems counterproductive: As the manufacturer is one of the considered actors, taking the role of the re-encryption proxy at the same time would allow him to retain access on data. But, given that the manufacturer is in charge of the car's hardware, the user already has to trust the manufacturer. Thus, the second option would effectively reduce the necessary trust relations.

Attribute Based Encryption (ABE) The idea of user-centricity is to provide the user with a maximum of control over his data. Thus, the user will be imposed with the full

responsibility to judge the trustworthiness of all involved actors. In a real world scenario, this assumption is rather unrealistic. ABE can be used to reduce complexity by implementing levels of indirection. Introducing trusted AAs, the user is still able to enforce custom access policies, while trust relations are simplified. For example, a national regulatory authority, acting as an AA, could bind a dedicated attribute to insurance companies that comply with data protection laws.

SDS increases computational costs due to the additional cryptographic operations. Furthermore, advanced cryptographic primitives typically cause higher costs than traditional approaches. But, due to the nature of user-centricity, any UC-SDS system is limited in terms of complexity to what is manageable for a single user. With respect to recent performance evaluations [KH15, KH16], we conclude that performance considerations in terms of trade-offs between different cryptographic methods are negligible regarding an SDS protocol applied in context of UC-SDS.

4.3 Secure Data Outsourcing Aspects

Secure Data Outsourcing mechanisms enrich our concept to meet two requirements, namely indexing for fast data access and low information leakage to protect the data from inference attacks. The question to answer is: *How can we store and retrieve data securely and efficiently?* There is an inherent trade-off between retrieving data securely and efficiently. More efficient indexes, even encrypted ones, leak more information about the data, because a potentially untrusted actor gains information which is needed to perform queries more efficiently. Our goal is to only leak information which the attacker either already knows or with which he can not infer sensitive data.

Fast Index Access (FIA) We assume that each data set contains a summary of the telemetric driving data for one day and that one data set is uploaded per day. In this case all actors who want access to the data already know that a data set is inserted once every day, so there is no point in trying to hide or mask this insert. The date field of the data set makes a good index, as it is known to all participants and thus, there is no need to encrypt it. All other columns should be encrypted with a probabilistic encryption scheme. Otherwise, especially the manufacturer, as a possible attacker who has a vast amount of background knowledge, might infer big parts of data, encrypted with a deterministic or order-preserving encryption scheme, by performing a frequency analysis.

With this setup, it is possible for each actor to query data sets according to their date. The whole data set is retrieved even if an actor only has access to one value, so there is a considerable amount of overhead in network traffic. An attacker as defined in Section 4.1 can see for every query (1) who retrieves data, and (2) how many and (3) which data sets, identified by their date, are retrieved. Additionally, an attacker can keep track on (4) how often a certain data set has been retrieved.

Low Information Leakage (LIL) To use the security mechanisms of an encrypted index structure, we need to have a mediator server to execute shuffling operations or to retrieve

dummy data sets to hide access patterns. There are several possibilities to place such a mediator: **(M1)** A user could operate his own server, which works as a mediator, **(M2)** The mediator software could be run on the server of the storage provider, **(M3)** The mediator software could be run on a server of the car manufacturer, making him the central database access point for all participants, **(M4)** The mediator software could be installed at every party's server, which wants to access data.

Even though the options (M1) and (M4) are user-centric, truly they do not seem practical for many scenarios, since they involve a lot of manual installation and maintenance on either the user's side or the side of all involved actors. If they can be implemented, they are definitely to be preferred. Whether option (M2) or (M3) is a better choice highly depends on the scenario. In our case we would opt for (M3), since the manufacturer knows some of the information we would hide with an encrypted index structure anyways, because he knows the kind of data that is produced by the car. The car manufacturer can outsource encrypted data on behalf of the user with a protocol like Oblivious RAM. This means that every database operation would be send to the car manufacturer, and then executed by him. The key management and the encryption of data, and therefore the management of access control would remain with the user. This solution eliminates the information leakage of (1), (3) and (4) as defined above while still remain a decent query latency.

4.4 Design and Value Considerations

To implement a UC-SDS system, we can combine the previously discussed building blocks of SDS and SDO. Figure 2 shows how a solution for low information leakage might be combined with proxy re-encryption. In this example, the mediator as well as the re-encryption proxy, which acts like another user from the mediator's perspective, are operated by the manufacturer. Thus, the manufacturer is entrusted with hiding access patterns and the timely execution of re-encryption, in case a user revokes access of an actor. As the sketched design is only one of many possibilities to combine the available building blocks, an additional questions comes up: *How can we decide on the various design alternatives?*

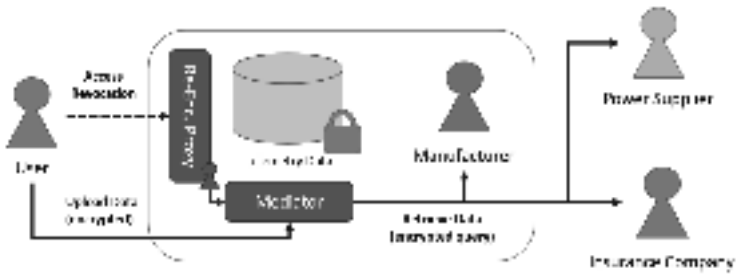


Fig. 2: UC-SDS design combining LIL (M3) and PRE (P2).

At this point we suggest to incorporate individual values, i.e. values of the user, following the approach of [Ne16], in which values are translated to technical properties. This approach is being used to grant a starting point for a discussion about the implications on values

of each solution. We have identified that, among others, the following values affect our UC-SDS approach: **Power - Resources** as "Power through control of material and social resources", which is affected by the monetary cost of any given solution. **Self-Direction - Action** as "Freedom to determine one's own actions", which is affected by the number of operation modes a user can choose from. **Benevolence - Dependability** as "Being a reliable and trustworthy member of the ingroup", which is affected by the amount of trust towards others, that is necessary for a chosen solution. From these values we can derive four normative elements, which will help to evaluate the three values with regard to our scenario: *"Minimize Cost"* expresses the requirement to keep operating costs as low as possible. *"Individual Protection Levels"* expresses the requirement to allow differing protection levels for different data attributes. For example, uncritical data attributes can be stored unencrypted to boost performance. *"Large Design Space"* expresses the requirement to set up a very individual solution with many operation modes to choose from. *"Minimize necessary trust"* expresses the requirement to minimize the trust in third parties, which is needed to operate the chosen solution. Figure 3 aids a discussion about design alternatives

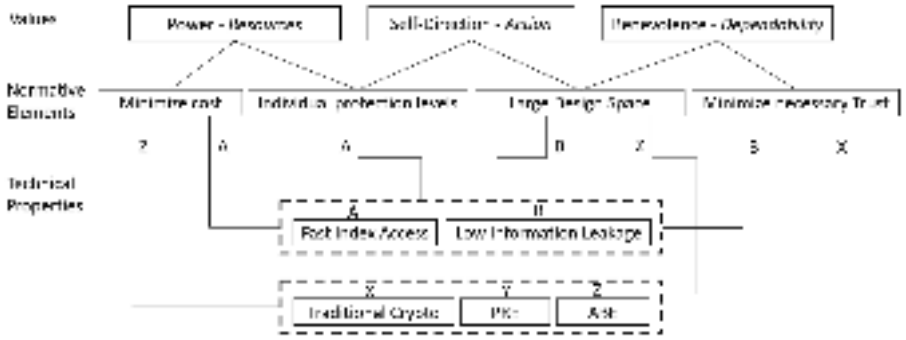


Fig. 3: Dependencies of Values, Normative Elements and Technical Properties. Annotations indicate preferred design decisions with respect to a single Normative Element.

on a very basic and simplified level in taking affected values into account. The letters on relations express, which design option fulfills a normative element best. For example, it can be seen that A (Fast Index Access) minimizes cost better than B (Low Information Leakage) or that X (Traditional Crypto) minimizes necessary trust better than Y (PRE) and Z (ABE). The visualization also shows the implicit trade-offs between values. Option A is better in terms of minimizing cost and providing individual protection levels of data, whereas option B provides a large design space.

5 Discussion

We have presented an **example scenario** dealing with telemetry data collected by cars to illustrate the implications of UC-SDS. While this scenario clearly shows the potential of UC-SDS, constraining assumptions had to be made with respect to the scope of this paper. For a real-world application it has to be considered that the driver of a car might not

be the owner and might change frequently. Likewise, the role of the manufacturer has to be carefully reviewed. On the one hand, a car manufacturer is in charge of implementing the data collection mechanisms, implicitly controlling which data is acquired and thus accessible for others. It has to be guaranteed that a manufacturer cannot exploit this central position. Assuming sufficient competitive pressure this might be a self-regulating process. On the other hand, even in case of UC-SDS there are legitimate data-processing-operations performed by the manufacturer that should not be prohibited by the user. This concerns data about security-relevant components. Manufacturers have to fulfill their product monitoring obligations to prevent liability risks. A UC-SDS system has to be designed in a way that access to those data is ensured for manufacturers. In context of the scenario, the selected **data model**, described in Section 4.1, is up to discussion as well. Considering the actual information needs of the involved actors, a more fine-grained specification will be required.

From the **legal perspective**, we showed that UC-SDS enables to balance the main legal principles on competition- and data protection law level: For example, UC-SDS fosters "fair and undistorted competition" by providing confidentiality and realizes "consent" by enabling the user to perform access control. According to the value model of Schwartz [Sc12], the European regulation efforts can be understand as an approach to establish a framework to balance individual values. In this context, the interrelations of societal and individual values should be considered for further discussion, e.g., with respect to liberty rights. The **practical usability** of UC-SDS heavily depends on the possibilities of the user to interact with the system. For example, given the telemetry data scenario, a user interface could be part of the car or a separate (mobile) application. The underlying question, which level of complexity a user can handle, is beyond the scope of this paper and remains to be addressed.

Overall, we have outlined that the necessary technical building blocks to implement UC-SDS are available. More work is needed to develop a protocol and architecture with respect to the particular use case. To decide on the various design alternatives, we suggest taking **values** into account. While societal values determine requirements for UC-SDS, e.g. in form of laws, we sketched how individual values and value-conflicts can be considered as well. Centering on the user, a preeminent trade-off manifests between minimizing trust relations ("benevolence") and cost minimization ("power"), as cutting down trust relationships significantly increases the users' workload. Given the complexity of the discussed scenario, the consideration of values has to be intensified. Finally, following a user-centric approach itself represents a value-laden decision.

6 Conclusion & Future Work

In this paper we have introduced the idea of User-Centric Secure Data Sharing to restrict the use of data and observable usage patterns to services authorized by the user. Based on a data sharing example scenario for telemetry data collected by cars, we have analyzed the legal context, representing a consensus on societal values to deduce scenario specific requirements. With respect to the established requirements, we have analyzed the available technical building blocks. We exemplified how potentially conflicting individual values

can be considered when combining these building blocks to balance the various trade-offs inherent to the possible design alternatives.

Overall, we come to the conclusion that the technical means to implement UC-SDS are available, while possible combinations of the respective building blocks have not been thoroughly investigated yet. In addition to improving usability, UC-SDS requires a careful analysis of societal and individual values, according to the scenario under consideration, to realize a well-balanced solution. Thus, our work represents the first step towards a value-oriented design of User-Centric Secure Data Sharing.

For future work, we plan to thoroughly examine a UC-SDS scenario, identifying a comprehensive set of affected values. Implementing the building blocks, we envisage a prototypical realization, which can be used to investigate the practical feasibility of UC-SDS.

References

[At06] Ateniese, Giuseppe et al.: Improved proxy re-encryption schemes with applications to secure distributed storage. ACM TISSEC, 9(1):1–30, February 2006.

[BJ16] Brisch, Klaus; Jung, Marco Müller-ter: Autonomous Driving – Von Data Ownership über Blackbox bis zum Beweisrecht. Computer und Recht, 32(6), January 2016.

[Bu15] Buchner, Benedikt: Datenschutz im vernetzten Automobil. Datenschutz und Datensicherheit - DuD, 39(6):372–377, May 2015.

[Fr96] Friedman, Batya: Value-sensitive design. interactions, 3(6):16–23, December 1996.

[Go03] Goh, Eu-Jin et al.: SiRiUS: Securing Remote Untrusted Storage. In: NDSS. volume 3, pp. 131–145, 2003.

[Gu13] Gungor, Cagri et al.: A Survey on Smart Grid Potential Applications and Communication Requirements. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 9(1):28–42, February 2013.

[Ha14] Handel, Peter et al.: Smartphone-Based Measurement Systems for Road Vehicle Traffic Monitoring and Usage-Based Insurance. IEEE Systems Journal, 8(4):1238–1248, December 2014.

[Ha15] Hansen, Marit: Das Netz im Auto & das Auto im Netz: Herausforderungen für eine datenschutzgerechte Gestaltung vernetzter Fahrzeuge. Datenschutz und Datensicherheit - DuD, 39(6):367–371, May 2015.

[Ho15] Hornung, Gerrit: Verfügungsrechte an fahrzeugbezogenen Daten: Das vernetzte Automobil zwischen innovativer Wertschöpfung und Persönlichkeitsschutz. Datenschutz und Datensicherheit - DuD, 39(6):359–366, May 2015.

[Ka12] Kamara, Seny et al.: Dynamic Searchable Symmetric Encryption. In: ACM CCS. New York, NY, USA, pp. 965–976, 2012.

[KH15] Kuehner, Holger; Hartenstein, Hannes: On the Resource Consumption of Secure Data Sharing. In: IEEE RATSP. pp. 880–889, August 2015.

[KH16] Kuehner, Holger; Hartenstein, Hannes: Decentralized Secure Data Sharing with Attribute-Based Encryption: A Resource Consumption Analysis. In: ACM SCC. pp. 74–81, 2016.

[KT05] Kempton, Willett; Tomić, Jasna: Vehicle-to-grid power fundamentals: Calculating capacity and net revenue. Journal of Power Sources, 144(1):268 – 279, 2005.

[Ku16] Kunnert, Gerhard: Die datenschutzkonforme Vernetzung des Automobils. Computer und Recht, 32(8):509–516, January 2016.

[KW15] Krauß, Christoph; Waidner, Michael: IT-Sicherheit und Datenschutz im vernetzten Fahrzeug: Bedrohungen und Herausforderungen. Datenschutz und Datensicherheit - DuD, 39(6):383–387, May 2015.

[Li04] Li, Jinyuan et al.: Secure Untrusted Data Repository (SUNDR). In: OSDI. volume 4, pp. 9–9, 2004.

[Na15] Naveed, Muhammad et al.: Inference attacks on property-preserving encrypted databases. In: ACM SIGSAC CCS. pp. 644–655, 2015.

[Ne16] Neudecker, Till et al.: Consideration of Values in the Design of Access Control Systems. In: Proceedings of a Workshop on Value-Sensitive Design of Internet-Based Services: Towards an Integration of Technology and Values. GI'16, Klagenfurt, 2016.

[Pa17] Paal, Boris P. et al.: Datenschutz-Grundverordnung. Beck'sche Kompakt-Kommentare. C.H. Beck, München, 2017.

[Ro16] Roßnagel, Alexander et al.: Datenschutzrecht 2016 „Smart" genug für die Zukunft? kassel university press, Germany, 2016.

[Sc12] Schwartz, Shalom H. et al.: Refining the theory of basic individual values. Journal of Personality and Social Psychology, 103(4):663–688, 2012.

[So17] Sookhak, Mehdi et al.: Secure Data Sharing for Vehicular Ad-hoc Networks Using Cloud Computing. In: Ad Hoc Networks, volume 184, pp. 306–315. Springer International Publishing, Cham, 2017.

[St13] Stefanov, Emil et al.: Path ORAM: An Extremely Simple Oblivious RAM Protocol. In: ACM SIGSAC CCS. pp. 299–310, 2013.

[SW05] Sahai, Amit; Waters, Brent: Fuzzy Identity-Based Encryption. In: Advances in Cryptology – EUROCRYPT 2005, volume 3494, pp. 457–473. Springer Berlin Heidelberg, 2005.

[Th14] Thilakanathan, Danan et al.: Secure Data Sharing in the Cloud. In: Security, Privacy and Trust in Cloud Systems, pp. 45–72. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2014.

[Th16] Thoma, Cory et al.: PolyStream: Cryptographically Enforced Access Controls for Outsourced Data Stream Processing. In: ACM SACMAT. pp. 227–238, 2016.

[VdP13] Van de Poel, Ibo: Translating Values into Design Requirements. In: Philosophy and Engineering: Reflections on Practice, Principles and Process, volume 15, pp. 253–266. Springer Netherlands, Dordrecht, 2013.

[Vo16] Vogelgesang, Stephanie: Datenspeicherung in modernen Fahrzeugen – wem „gehören" die im Fahrzeug gespeicherten Daten? juris – Die Monatszeitschrift, 3(1):2–8, 2016.

[YJ14] Yang, Kan; Jia, Xiaohua: DAC-MACS: Effective Data Access Control for Multi-Authority Cloud Storage Systems. In: Security for Cloud Storage Systems, pp. 59–83. Springer New York, 2014.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 1259

Ethische Fragen bei der Verarbeitung personenbezogener Arbeits- und Leistungsdaten aus Wearables

Torsten Merkel[1] und Katrin Förster[2]

Abstract: Der Einsatz von Wearables in der Arbeitsanalytik eröffnet große Chancen, die Grundlagen der Belastbarkeit in unterschiedlichen Arbeitssituationen hinsichtlich ihrer Komplexität besser zu erfassen und zu bewerten. Die Möglichkeit der Verbesserung von Arbeitsbedingungen trägt aber gleichzeitig die Gefahr eines höheren Maßes an der Verplanung von menschlicher Arbeit im Grenzbereich, die Verstärkung von Wettbewerb und Auslese sowie Übergriffe auf die Nutzung individueller Daten in sich. Am Anfang eines Forschungsprojektes müssen ethische Grundsätze des Einsatzes von Wearables für die Arbeitsanalyse und -gestaltung diskutiert und definiert werden.

Keywords: Arbeitswissenschaft, Arbeitsgestaltung, Arbeitsphysiologie, Ethik, lückenlose Datenerhebung, Datenspeicherung, individuelle Selbstbestimmtheit, Leistungsbewertung, informationstechnische Überwachung,

1 Ausgangssituation

Der Mensch ist Mann und Frau, daher gelten alle Personenbezeichnungen im Text für beiderlei Geschlecht.

Datenverarbeitung spielt für die Arbeits- und Gesundheitsforschung seit vielen Jahren eine bedeutende Rolle. Digital aufbereitete Daten sind ein nicht mehr weg zu denkender Teil von Diagnose, Therapie und Beratung. In den letzten Jahren wurde aus dem Wunsch der Selbstkontrolle für Sport- und Fitness eine Reihe von Geräten entwickelt, welche medizinisches Wissen für einen eingegrenzten Anwendungsbereich in mobilen Geräten unterbringen. Aus dem ursprünglichen Ziel dem Sportler Hinweise zum Überschreiten empfehlenswerter Vitalwerte, wie eine zu hohe Herzfrequenz, zu geben, hat sich aus der Euphorie einer kleinen fitnessaffinen Anwendergruppe eine von vielen Menschen genutzte Form des „Quantified Yourself“ entwickelt. Daten, welche für eine Beurteilung der individuellen Fitness bzw. Gesundheit aufgezeichnet werden, sind in gleichem Maß für die Gestaltung von Arbeit interessant und wichtig. Erwerbsarbeit steht in einem anderen Kontext als die Ermittlung von persönlichen Vitaldaten. Daher sind vor einem breiten Einsatz der Aufzeichnung und Auswertung individueller Daten aus einem Arbeitsprozess heraus weitere prinzipielle ethische Fragen eines solchen Vorgehens zu klären und entsprechende Regeln bzw. Rahmenbedingungen zu definieren. Diese müssen bereits bei dem technischen Entwurf und der Realisierung der Wearables

[1] Westsächsische Hochschule Zwickau, Institut für Produktionstechnik, Professur Arbeitswissenschaft, Dr.-Friedrichs-Ring 2A, 08056 Zwickau, torsten.merkel@fh-zwickau.de
[2] katrin.foerster@fh-zwickau.de

doi:10.18420/in2017_127

Berücksichtigung und Umsetzung finden.

2 Sinn und Unsinn der Datenerhebungen

Arbeit spielt für unsere Gesellschaft eine bedeutende Rolle. Arbeit dient der direkten und indirekten Existenzsicherung. Arbeit schafft Werte für die gesamte Gesellschaft. Arbeit bedarf auf Grund sich ständig verändernder Rahmenbedingungen, wie demografische Veränderungen, Technologien einer beständigen Neujustierung der Schwerpunktsetzung in der Arbeitsgestaltung. Prinzipieller Konsens besteht aber darin, dass Arbeit nicht krankmachen und verfügbare Leistungspotenziale möglichst lang erhalten bleiben sollten.

Die im Bereich der Arbeitswissenschaft entstandenen Grenzwerte der Belastung und Beanspruchung wurden in den letzten 40 Jahren kaum aktualisiert. Fast alle Daten für Arbeitsbewertungen und Arbeitsplanungen basieren auf diesen Alt-Werten, die beginnend in den 1950er Jahren erfasst wurden. Auch aktuelle Softwaretools zur Planung und Simulation von Arbeitsprozessen oder digitale Menschmodelle verwenden diese alten Bewertungsskalen. Mit den Möglichkeiten des Einsatzes der bereits in Sport und Fitness genutzten Wearables, Tracker usw. ergibt sich die Chance einer Datenerhebung zur Neubewertung von Arbeitsbelastungen. Insbesondere das Tragen solcher Geräte über Tage und Wochen erlaubt die Beobachtung und Auswertung wechselnder Arbeitsanforderungen. Vergleichbar wäre auch, wie Arbeitsanforderungen sich auf Personen mit unterschiedlichen Leistungsvoraussetzungen auswirken.

Aktuell angebotene Tracker, Wearables und sonstigen Smart-Gadgets bieten mittlerweile die Möglichkeit, körperliche Auswirkungen arbeitsbedingter Belastungen unmittelbar im Arbeitsprozess tendenziell zu verfolgen. Ob die ermittelten Belastungen eine temporäre kritische Beanspruchung des Nutzers darstellen, kann jedoch der Laie aus der angezeigten Herzfrequenz oder der Atemrate nicht schlussfolgern. Kurzzeitige Extremwerte, bedingt bspw. durch eine Überlagerung von körperlicher Anstrengung und Stress, können zu einem unnötigen zusätzlichen Stress führen. Das kann je nach Einstellung und Temperament des Nutzers zu einer Ablehnung der Informationen bis hin zu einer hypochondrischen Sensibilität führen.

Hier fehlt eine Interpretation der nach Geschlecht und Alter vorhandenen Normen zur Tätigkeitsbewertung. Erst danach lassen sich besonders belastend wirkende Arbeitssituationen identifizieren, um dann nach geeigneten Maßnahmen in der Arbeitsgestaltung zu suchen, diese zu gestalten und deren Wirksamkeit zu evaluieren.

Bei diesen Betrachtungen geht man von einem gesunden Menschen aus. Doch die Realität sieht anders aus. Betrachtet man die neu heranwachsende Generation, so werden bereits im Schulalter Einschränkungen im Bereich Wahrnehmung, Geschicklichkeit bei Bewegungsabläufen und Fitness diagnostiziert. Veränderte Lebensbedingungen, Ernährungsgewohnheiten und Freizeitinteressen führen auch zu veränderten Leistungsfähigkeiten im späteren Arbeitsprozess. Zusätzlich verändern sich die

Arbeitsaufgaben der Mitarbeiter. Einerseits existieren noch immer körperlich schwere Arbeiten, die man bisher nicht durch Automatisierung oder Roboter ersetzen konnte (z. B.: Abb. 1).

.

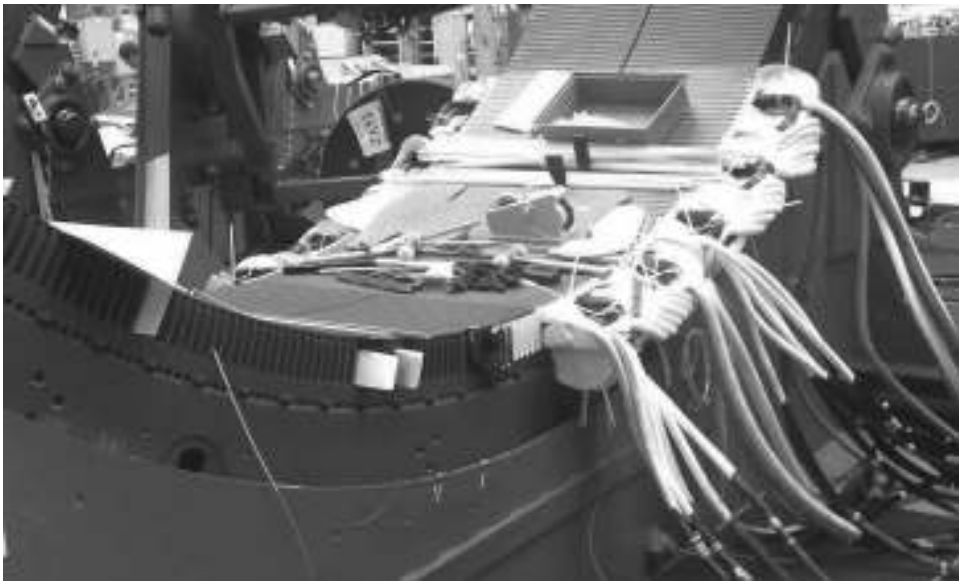


Abb. 1: Klassische Belastungssituation im Großmaschinenbau

Andererseits verbringt ein Großteil der Menschen seinen Arbeitsalltag an Computern, Steuerungsgeräten oder anderen Mensch-Maschine-Schnittstellen. Dies führt zu langen Phasen einer fixierten Körperhaltung mit überproportional hohen statischen Körperbelastungen. Längere Lebensarbeitszeiten und damit eine stärkere Beanspruchung der Mitarbeiter führen zu Veränderungen der arbeitsphysiologischen Kennwerte. Leistungsgewandelte Personen, die nach längeren Krankheiten wieder in den Arbeitsprozess integriert werden sollen, sind jedoch nicht mit den vorliegenden Grenzwerten und Leistungsvorgaben pauschal gemindert um den Faktor „x“ planbar. Hier wären basierend auf den tatsächlichen individuellen Beanspruchungswerten spezielle Arbeitsabläufe und deren Training erforderlich. All diese Anwendungsfälle zeigen einen möglichen und menschzentrierten Ansatz der Neubewertung von Arbeit mittels Wearables.

Verena Muntschik vom Zukunftsinstitut Frankfurt a. M. [Mv2016] geht diesen gesundheitsfördernden Ansatz noch weiter. Sie spricht vom Digividuum, der gesundheitsfördernden Verschmelzung von Mensch und digitaler Technologie. Die digitale Technik ist heute nicht mehr nur ein Produkt des Menschen, sondern stellt eine virtuelle Erweiterung der menschlichen Umwelt dar. Dies ist auch in der derzeitigen Diskussion zur Symbiose von Mensch und Roboter in der Arbeits- und Lebenswelt ein

neuer sozio-technischer Ansatz.

Die derzeitigen Tracker sind mit ihren visualisierten Messwerten, die hinsichtlich ihrer Messgenauigkeiten nicht bewertet werden können, und deren Assistenzfunktionen für den Einsatz in der Arbeitswelt unzureichend. Werden dem Nutzer unrealistische Hinweise, wie „Gehen Sie los!“ bspw. an einem Montagearbeitsplatz eingeblendet, so ist das bei dem aktuell sehr begrenzten Handlungsspielraum des Mitarbeiters nicht sehr hilfreich. Auch dies führt, insbesondere bei vielen zusätzlichen Informationen aus dem Arbeitsprozess, ebenfalls zu einer Stresssituation. [Sp16]

Daher ist der Ansatz, man gebe dem Mitarbeiter ein Wearable und er kann jetzt eigenverantwortlich für seine Gesundheit im Arbeitsprozess sorgen, aus unterschiedlichen Gründen fragwürdig. Dies schließt nicht die Eigenverantwortung des Mitarbeiters für sein Wohlergehen und seine Gesundheit aus. Das dazu eine Bereitschaft bei den Mitarbeitern vorliegt, zeigt die von der Stanford University's Mind & Body Lab durchgeführte Studie bei den Mitarbeitern von LinkedIn Corporation. Die Mitarbeiter wurden bei einer randomisierten Studie mit Wearables zur Messung der Atemrate ausgestattet. Die Atemrate korreliert mit den Aktivitäten des Parasymphatikus. Daraus kann man indirekt auf das Stressverhalten des Nutzers schließen. 10 % der Nutzer gaben an weniger Stress zu empfinden und 58 % der Nutzer bestätigten, dass sie mit dem Wearable den Umgang mit Stress lernen und in den Alltag implementieren konnten [Gr83]; [Sh06]. Diese Ergebnisse verdeutlichen die Effekte der Selbstwahrnehmung und -reflexion, die man mit einem Wearable erzielen kann. Aus den Trainingswissenschaften weiß man, dass dieses kognitive Verhalten eine wichtige Voraussetzung für eine Änderung von persönlichen Einstellungen und Handlungsmustern ist.

Für die Auswertung der Daten braucht es daher zusätzlich Stufenkonzepte, mit denen die unterschiedlichen Bedürfnisse und Aktivitätslevel der Nutzer Berücksichtigung finden. Nur so ist eine nutzerfreundliche Informationsvermittlung effektiv gestaltbar. Dies können die vorhandenen Wearables derzeitig nicht anbieten.

3 Arbeitsgestaltung – der Spagat zwischen Reglementierung und Schutz der Arbeitnehmer

Die Arbeitsgestaltung hat gegenüber der Medizin ein grundsätzliches Problem. Wenn Bedürftige zum Arzt gehen um sich helfen zu lassen oder Sportler ein digitales Aufzeichnungsgerät erwerben, dann geschieht dies immer aus eigenem Antrieb. Der Datenschutz gegenüber dem Arzt, der durch Monitoringmaßnahmen die Lösung zur Heilung der Erkrankung finden soll, ist entsprechend gesichert. Für den Fitness- und Sportsektor beginnen hier bereits grundlegende ethische Probleme, weil in verschiedenen Prozessen nicht klar ist, wie mit den Daten dieser Nutzer im Weiteren durch Dritte umgegangen wird.

Anders in der Arbeitswissenschaft, hier kommt der Wissenschaftler zum Beschäftigten,

um diesen bei der Gestaltung der Arbeit zu helfen. Im Ergebnis einer solchen Studie werden aber auch Leistungsdifferenzen und individuelle Unterschiede bezüglich der Beanspruchung durch die Arbeit sichtbar. Was als Ganzes wichtige und hilfreiche Erkenntnisse für die Arbeitsgestaltung mit sich bringt, kann für den Einzelnen zur Bedrohungen werden. Statt eine auf das Leistungsvermögen des Individuums zugeschnittene Planungsbasis zu erarbeiten, durch die sich Leistung verbessern bzw. gesundheitsgefährdende Effekte von Arbeit reduzieren lassen, besteht andererseits die Gefahr der Selektion und einer enger an Belastungsgrenzen orientierenden Leistungsvorgabe.

Dies ist ein wesentlicher Unterschied zu den bisher üblichen deskriptiven Modellen der Arbeitsanalytik. Hier werden bspw. durch Zeitstudien die Arbeitsaufgaben und die dafür erforderliche Arbeitszeit erfasst. Entsprechend der Ist-Zeiten des Mitarbeiters in Bezug zu den Sollzeiten erfolgt die Leistungsgradbeurteilung des Mitarbeiters. Mit der Multimoment-Studie, einem weiteren Verfahren aus der REFA-Methodensammlung zur Arbeitsgestaltung, werden stichprobenartig personenneutrale, nur zeitlich begrenzte Daten zur Tätigkeitsverteilung bei der Arbeit erfasst. Bei beiden Methoden ist der Mitarbeiter jedoch einer direkten Fremdbeobachtung ausgesetzt. Aus Datenschutzgründen ist daher derzeitig eine vollständige Untersuchung des Arbeitstages in einer Multimoment-Studie nicht erlaubt.

Mit dem Wearable werden permanent Daten erfasst. Ein Vergleich von individuellen Leistungsschwankungen, oder die unterschiedliche Herzvariabilität bei gleichbleibenden Tätigkeiten, lässt Rückschlüsse auf die Belastungsfähigkeit und die Leistungsfähigkeit des Mitarbeiters zu. Müssen wir dann unserem Vorgesetzten erklären, dass wir durch Medikamente, wie Blutdrucksenker, eingeschränkt leistungsfähig sind? Wird der Mitarbeiter damit zum Leistungssportler am Arbeitsplatz?

Zum Schutz der Mitarbeiter besteht bereits durch den Gesetzgeber für die Überwachung von Arbeit mit technischen Einrichtungen eine Informations- und Mitbestimmungspflicht. Diese Regelungen reichen für einen Einsatz von Wearables am Arbeitsplatz jedoch nicht aus. Damit entsteht für eine in der Praxis des Arbeitslebens angesiedelte Forschung die Notwendigkeit, mögliche Teilnehmer einer Studie vom Mehrwert des Projektes zu überzeugen. Zu Beginn eines Projektes verfügt man in der Regel aber nur über Thesen. Diese sind als Argumente häufig wenig überzeugend. Notwendigerweise wären aber auch eine sehr umfassende Datenerhebung notwendig, da arbeitsbedingte Einflüsse und die entsprechenden Reaktionsmuster sehr komplex sind. Bei unzureichender Datenlage bestehen Gefahren von Fehlinterpretationen. Technisch wäre dies durch selbstlernende Algorithmen durchaus möglich, aber dürfen wir das? [Me17]

4 Ethische Fragestellungen und wie weiter

Um überhaupt eine auf die arbeitswissenschaftlichen Belange zugeschnittene Aufzeichnungstechnologie für Individualdaten sowie deren Auswertung und

Interpretation zu entwickeln, bedarf es eines von Anfang an nach ethischen Grundsätzen korrekten Vorgehens. Wie dies aussehen kann, wäre zu klären.

Steht ein für arbeitswissenschaftliche Zwecke geeignetes Aufzeichnungssystem zur Verfügung, stellt sich im Weiteren die Grundsatzfrage der Absicherung eines Einsatzes im betrieblichen Alltag, ohne an dieser Stelle ethische Grenzen zu überschreiten. Diskussionsfragen sind:

- Wie sehen diese Grenzen aus?
- Wie werden dauerhaft diese Grenzen abgesichert?
- Wie verhindert man Daten-Missbrauch?

Einzelfälle zeigen, dass Unternehmen bereits jetzt Trackingsysteme, z. B. Datenbrillen, im Arbeitsprozess einsetzen. Es besteht daher Handlungsbedarf, sich der Diskussion über die Autonomie des Menschen und den ethischen Fragen in diesem Kontext zu stellen.

Betrachtet man die technologischen Entwicklungsschübe der letzten 150 Jahre, so wurde zu Beginn neuer Erfindungen und technologischer Umbrüche oftmals Panikmeldungen zum Untergang der sozialen Normen und Bedrohungsszenarien entwickelt.

Wearables stellen ein tragfähiges, modulares und flexibles Messequipment dar, mit denen man die aus arbeitswissenschaftlicher Sicht erforderliche Neuvermessung des Menschen im Arbeitsprozess hervorragend realisieren kann. Es wäre daher zu klären, was muss man messen – welche physiologischen Kennwerte brauchen wir überhaupt? Das zweite Problemfeld dient dem Schutz und der Autonomie der Nutzer. Hier wird es keine befriedigende Allgemeinlösung für alle geben.

Szenario 1 ist der Mitarbeiter, der durch das Wearable in Work-Life-Balance gehalten werden soll. Dieser braucht kurze Erinnerungstipps bspw. kurzzeitige Bewegungswechsel nach vier Stunden Dauerarbeit am Computer. Das Assistenzsystem sollte in diesem Falle die Achtsamkeit und Selbstkontrolle der Person unterstützen. Effekte aus dem Spielbereich oder Bonuskonzepte könnten diese geplanten Interaktionen unterstützen. Hier braucht es keine Datenfreigabe an Dritte.

Szenario 2 hingegen fokussiert den gesundheitsaffinen Mitarbeiter als Zielgruppe. Selbstkontrolle und Akzeptanz von gesundheitsförderndem Verhalten sind bereits verinnerlicht. Hier kann man detaillierter Kennwerte zur Optimierung von Bewegungsabläufen oder Körperhaltungen anzeigen und somit trainieren.

Hier sind die Fragen zu klären:

- Wie kann der Nutzer einen Datenzugriff selbstbestimmend regeln?
- Kann er im System nur bestimmte Werte freischalten, die für eine Bewertung mit dem

Arbeitsplaner sinnvoll sind?
- Wie ist die Weitergabe an betreuende Arbeitsmediziner oder gar den Allgemeinarzt zu regeln?

Das sind Fragen, die auch mit den Sozialpartner zu klären sind.

Jedoch unabhängig von den oben genannten Szenarien, die ja nur zwei mögliche Anwendungen von vielen skizzieren, braucht es begleitend die Diskussion mit Informatikern. Hier sind die technischen Möglichkeiten zum Datenschutz gleichfalls in Szenarien aufzuzeigen. Nur so kann eine Datentransparenz bei der Datenerfassung, -auswertung und -lagerung für den Nutzer erreicht werden. Stufenkonzepte von Auswertungsmodellen müssen daher mit den Datenschutz-Szenarien der Informatiker harmonisiert werden. Es besteht also aus unserer Sicht dringender Gesprächsbedarf.

Nur so haben wir eine Chance, mit dem Einsatz von Wearables im Arbeitsprozess die Ziele der Arbeitswissenschaft – Schutz des Menschen, die Förderung und Erhaltung seiner Fähigkeiten und Fertigkeiten – zu realisieren.

Literaturverzeichnis

[Me17] Merkel, T; Herold, R.: Unterstützung von Gesundheitsschutz und Leistungsentwicklung durch temporären Einsatz eines modularen Systems von Komponenten der Augmented Reality (AR) mit Trackern für physisch-/psychische Parameter; Tagungsband der Frühjahreskonferenz der GFA; Hrsg.: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. Brugg 2017

[Mv16] Muntschik, V.: Health Trends. ZukunftsInstitut, Frankfurt a.M. 2016.

[Sp16] Spitzhirn, M.; Merkel, T.; Bullinger, A.-C.: Einsatz von Applikationen zur Messung ausgewählter Arbeitsumweltfaktoren mittels Smartphones; Zeitschrift für Arbeitswissenschaft, 1-16 Springer-Verlag 2016

[Gr83] Grossman, P. (1983). Respiration, Stress, and Cardiovascular Function. Psychophysiology. Vol. 20, No. 3.

[Sh06] Sherwood, L. (2006). Fundamentals of Physiology: A Human Perspective, Thomson Brooks/Cole, ISBN 0534466974

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 1267

„Digital India“: Accessibility und Usability als Ausdruck kollektiver Kommunikationsbedingungen im Internet of Things and Services (IoTS)

Axel Siegemund[1]

Abstract: Die These des Workshops „Digitale Kulturen“ lautet, dass Menschen ihre Kommunikation dem Medium anpassen, durch das sie kommunizieren. Gilt das auch für Kollektive, ändert sich also die gesellschaftliche Kommunikation, wenn die Digitalisierung dieser Gesellschaft proklamiert wird? Dieser Frage gehe ich anhand der Digitalisierung des indischen Subkontinents nach. Zunächst gehe ich auf „Digital India“ ein und erläutere den Übergang von Industrialisierungsprogrammen zur Ausrufung des IoTS (1). Danach beschreibe ich digitale Technologien als Träger vorhandener Kommunikationsmuster (2). Daraus ergibt sich die Schlussfolgerung, dass die Digitalisierung und die Kommunikationskultur jeweils eigenen Prämissen folgt (3). Insbesondere verringert die Digitalisierung nicht automatisch die soziale Abständigkeit der Teilnehmer und die interkulturellen Hürden der Kommunikation.[2]

Keywords: Interkulturelle Kommunikation; Digital India; Internet of Things; Smart Citys; Science and Technology Studies; Theologische Ethik; Accessibility; Usability

1 Digital India

Die indische Regierung hat vor zwei Jahren die Kampagne „Digital India“ ins Leben gerufen, um sicherzustellen, dass staatliche Dienstleistungen den Bürgern elektronisch durch verbesserte Online-Infrastruktur und durch die Erhöhung der Internet-Konnektivität zur Verfügung gestellt werden. Die Initiative, die am 1. Juli 2015 von

[1] Ev.-Luth. Kirche in Norddeutschland, Zentrum für Mission und Ökumene, 22605 Hamburg, a.siegemund@nordkirche-weltweit,de

[2] Eher ermöglicht die Digitalisierung eine neue Wahrnehmung und Verarbeitung interkultureller Irritationen, die auch für die Polizeiarbeit relevant ist. In der Ausbildung (vorrangig mittlerer Dienst) werden Inhalte der ethischen Berufsbildung zurzeit unter dem Thema „Interkulturelle Kompetenz“ verhandelt. Zu den allgemein zu vermittelnden interkulturellen Kompetenzen kommt für Polizisten immer mehr der Umgang mit religiös oder ethnisch motivierten Konflikten hinzu. Insbesondere im Umgang mit Menschen ohne westlich-kulturelle Prägung fehlt es mitunter an Möglichkeiten der Perspektivübernahme und des Verstehen-Könnens. Das Henry-Martyn-Institut in Hyderabad hat daher 2014 in Zusammenarbeit in Zusammenarbeit mit der Ev. Kirche in Hessen-Nassau ein Kooperationsprojekt zur interkulturellen Bildung für deutsche Polizisten angeboten. Das Programm fand in Hyderabad in Südindien statt und wurde von Prof. Dr. Vansanth Rao, dem Direktor des HMI sowie von der National Police Academy, der Andhra Pradesh Police Academy und der Minority commission of India durchgeführt. Zielgruppe waren Dienstgruppenführer und andere Multiplikatoren. Da interkulturelle Fragen in der praktischen Polizeiarbeit zurzeit vor allem im Umgang mit muslimisch geprägten Personen relevant sind, war das HMI als Ort des christlich-muslimischen Dialogs ein kompetenter Ansprechpartner für Themen wie interreligiöse Auseinandersetzungen, häusliche Gewalt und Frauenrechte.

doi:10.18420/in2017_128

Premierminister Narendra Modi gestartet wurde, geht jedoch auf eine längere Geschichte der Digitalisierung zurück [Th12]. Sie umfasst vor allem Pläne, ländliche Gebiete mit High-Speed-Internet zu verbinden und besteht aus drei Kernkomponenten, der Schaffung von digitaler Infrastruktur, der Umstellung staatlicher Behörden auf digitale Dienstleistungen und der Erhöhung der digitalen Kompetenz der Bürger.

1.2 Digitalisierung als Modernisierungsprogramm

Die Schaffung von Infrastruktur betrifft vor allem das Land, wo die große Mehrheit der Inder wohnt. Digital India wurde mit dem Ziel, ländliche Gebiete mit Hochgeschwindigkeits-Internet zu verbinden, begründet. Die Vision des Programms besteht darin, integratives Wachstum in Bereichen der elektronischen Dienstleistungen und der Produktion sowie neue Beschäftigungsmöglichkeiten zu schaffen. Die staatliche Gesellschaft Bharat Broadband Network Ltd. projektiert das „Nationale Optical Fiber Network“ und wird bis Ende 2017 ca. 250.000 Dörfern Breitbandzugang gewährleisten. Die Veränderungen in der Kommunikation der Behörden bezieht sich auf nahezu alle Dienstleistungen des Staates, das Pass- und Meldewesen, die staatliche Sozialversicherung[3], das Steuerwesen usw. Die Digitalisierungsinitiative soll vor allem der weit verbreiteten Steuervermeidung Einhalt gebieten. Das dritte Ziel, die Verbesserung der digitalen Kompetenz, bezieht sich wiederum vorrangig auf die ländliche Bevölkerung. 60 Millionen Haushalte sollen erreicht werden und 550 regionale Vermarktungsverbünde digital vernetzt werden [ToI16]. Hier müssen allerdings Alphabetisierung und Digitalisierung parallel laufen, was schon auf die Bedeutung der ELSA-Anforderungen (Ethical, Legal and Social Aspects) für den Gesamtprozess verweist.

Das Ziel, Indien zu einer digitalen Gesellschaft umzubauen hat historische Vorbilder, deren Analyse eine kritische Betrachtung der Wirksamkeit und Zielorientierung der aktuellen Kampagne ermöglicht. Ein sehr bedeutender Vorläufer ist das Modernisierungsprogramm der ersten indischen Regierung, das sich direkt an die Unabhängigkeit 1947 anschloss [Jo08]. Weil diese Unabhängigkeit mit der religiösen Separierung der Muslime in Pakistan und Bangladesch einherging, war ein wichtiges Vorhaben, die nationale Einheit zu befördern. Diese Idee wurde vor allem von den Angehörigen höherer Kasten verbreitet, die oft eine der englischsprachigen Schulen besucht oder sogar im Ausland studiert hatten. Ausschließlich diese Schicht hatte eine klare Vorstellung von der Einheit eines indischen Nationalstaats [Kh03]. Wesentliche Grundlage für die Umsetzung der Vision war das Modernisierungskonzept, das Jawaharlal Nehru als Nationalphilosophie ausgab und das mehrere aufeinander abgestimmte Ziele verfolgte [Pa91]. Hierzu zählten die nationale Einheit und die Errichtung einer Demokratie als politische Ziele, die Industrialisierung und die Verwirklichung des Sozialismus als wirtschaftliche Ziele sowie die Förderung von

[3] In Südostasien wird seit 20 Jahren ein Sozialversicherungswesen eingeführt. Über Gesundheitskarten erhält in Indien jeder Berechtigte eine Kopfpauschale, mit der Arztrechnungen beglichen werden können.

Wissenschaft und Säkularismus als Entwicklungsziele. Dieser Ansatz fand Widerhall in der indischen Verfassung, mit der sich Indien zur Modernisierung auf der Grundlage einer demokratischen Politik verpflichtete. Die Verfassung gibt soziale, ökonomische und politische Gerechtigkeit als Ziel der souveränen, sozialistischen, säkularen und demokratischen Republik Indien aus. Hierzu gehören auch die Meinungsfreiheit und die Freiheit des Glaubens und des öffentlichen Bekenntnisses [Ki03]. Um die wirtschaftlichen Ziele zu erreichen, suchte Nehru das Bündnis mit Moskau. Staudämme und Wasserkraftanalagen nach dem Vorbild der stalinistischen Großbauten in Mittelasien und Europe wurden errichtet. Die indischen Institutes of Technology, bis heute die bekanntesten Ingenieurhochschulen in Südostasien, sind Ergebnis dieses Modernisierungsprogramms. 1950 wurde die Nationale Planungskommission gegründet. Ein Nationaler Entwicklungsrat unter der persönlichen Leitung von Nehru folgte. Dem öffentlichen Sektor waren Stahl-, Erdöl-, Maschinen-, Elektroindustrie und Schiffbau zugeordnet, dem privaten Sektor die Textil- und Maschinenbauindustrie sowie kleinere Unternehmungen. Eine Reihe von Fünfjahresplänen markierte die Zusammenarbeit zwischen öffentlichem und privatem Sektor.

In dieser Tradition steht Digital India, wobei heute der private Anteil an der Organisation der in den 1980er Jahren erfolgten Liberalisierung folgt. Die universellen Ideen einer technischen und sozialen Modernisierung sollen auch heute wieder durch private-public-partnership umgesetzt werden. Und wie damals sind es ebenfalls wieder die ländlichen Gebiete, die den Schwerpunkt der Investitionen ausmachen.

1.2 Von der Stahlstadt zur Smart City

Ravi Shankar Prasad, der Minister für Elektronik und IT, wird auf der offiziellen Website von Digital India mit den Worten zitiert: „Digital India ist vor allem für die Armen und Unterprivilegierten. Es zielt darauf, den Graben, der zwischen den ‘digital haves and have-nots’ besteht, durch die Nutzung von Technologie zu schließen.“ (Übers. A.S.). Es geht also um nicht weniger als die Erfindung einer neuen, von Armut befreiten Gesellschaft. Allerdings ist der Graben zwischen den „haves“ und den „have-nots“ kein technologischer Graben, sondern ein religiös-sozialer Graben.

Es war das erklärte Ziel der Industrialisierungsbemühungen nach der Unabhängigkeit, diesen Graben zu schließen. In den 50er Jahren sollten vor allem die Stahlwerke, die plötzlich mitten im Dschungel auftauchten, zu den Schwerpunkten dieser gesellschaftlichen Neugestaltung werden. Vor allem Stahlstädte wie Rourkela wurden durch europäische Entwicklungshilfe zu Orten, an denen eine neue Arbeiterklasse entstehen sollte (Patnaik 2015). Zwar gab es auch Vorläufer dieser Industriemission, wie die Tata-Stadt Jamshedpur, die schon 1907 gegründet worden ist. Doch nun sollten die Arbeiter unabhängig von ihrer sozialen Herkunft (Stamm, Kaste und Religion) gemeinsam in den Fabriken tätig sein. Das Konzept war, die indische Gesellschaft durch den neuen Rhythmus der Fabriken aus dem dunklen Agrarzeitalter in eine lichte Zukunft hinein zu führen. Das landwirtschaftlich geprägte Indien sollte in einen

technologiegetriebenen Staat verwandelt werden, Landwirte sollten Arbeiter werden. Dies sollte zur Liquidation des Kastensystems führen; die Technisierung wurde als Instrument angesehen, um kollektive Strukturen und die gesellschaftliche Kommunikation zu verändern. Dies gelang zwar teilweise auf der Ebene der jeweils Zugezogenen Akademiker in der Stahlstädten, jedoch kann nicht von einer umfassenden Erneuerung der gesellschaftlichen Kommunikation, etwa durch kastenübergreifende Verheiratungen, gesprochen werden.

Doch genau diese Ziele proklamiert Digital India heute wieder. Rourkela, die Stahlstadt, wurde 2016 auf die Liste der Smart Citys aufgenommen. Hier, wo vor 70 Jahren Tausende enteignet und vertrieben worden sind [Zi15], sollen nun ökologische und inklusive Entwicklungskonzepte umgesetzt werden. Diese Konzepte richten sich auf technische, wirtschaftliche und gesellschaftliche Innovationen. Rourkela soll, wie andere Smart Citys auch, ein urbanes IoTS werden. Dieses muss nun die Aufgabe lösen, die der Stahl nicht lösen konnte. Denn das neue Indien von damals ist lange ein Entwicklungsland mit im Wesentlichen stagnierender Wirtschaftsleistung geblieben [Bh74]. Nur ca. ein Fünftel der Bevölkerung lebte bis 1980 in den städtischen Zentren, die große Mehrheit blieb als Selbstversorger auf dem Land. Dort gründete das Leben auf traditionellen Institutionen [Th56]. Vor allem die Schuldknechtschaft und die direkte Abhängigkeit ganzer Familien von Großgrundbesitzern führten dazu, dass viele Menschen bis heute um ihr tägliches Überleben kämpfen müssen. Auch demokratische Institutionen konnten in diesen feudalähnlichen Strukturen nur schwer Fuß fassen.

Ein Ergebnis des Scheiterns der Industrialisierung [Bh84] ist die derzeitige Regierung selbst. Die Regierungspartei, die Bharat Jagannath Party (BJP), ist 1980 aus dem Missmut über die misslungene Modernisierung und die Hinwendung zum globalisierungskritischen Hindunationalismus entstanden. Auch wenn heute Rekrutierungen in den Fabriken selbst nicht mehr auf der Grundlage von Kasten- und Stammeszugehörigkeiten geschehen dürfen, spricht die Homogenität der Kollegien für sich. Dies trifft so auch auf andere Sektoren zu. So sind in Orissa große Staudämme wie Upper Kolab entstanden, um die wachsende Bevölkerung und die neuen Großbetriebe mit Strom zu versorgen. Zudem führte das reichlich vorhandene Bauxit dazu, dass der Landstrich heute mehrere Aluminiumfabriken aufweist. Die Hilfsarbeiter und Tagelöhner in den Fabriken kommen regelmäßig aus den sozialen Gruppen, die vorher wegen des Baus der Fabriken enteignet worden sind, während die Vorarbeiter und Ingenieure oft zugezogene Gebildete aus den höheren Kasten sind [St14].

Der missionarische Impetus einer Kulturrevolution, die mit der Ausrufung von Smart Cities und anderen digitalen Konzepten verbunden wird, ist also nicht einzigartig. Er hat, nicht nur in Indien, vielfältige Vorläufer. Ich erinnere an den Eisenbahnbau, der die nationale Einheit der USA beflügelt hat und die Verknüpfung von Sowjetmacht und Elektrifizierung bei W. I. Lenin. Während der Eröffnung des Bhakra Nangal Staudamms sagte Nehru, Fabriken, Stahlwerke, Dämme und Forschungsinstitute seien „die neuen Tempel des modernen Indien“ [Ke09]. In dieser Tradition verknüpft Digital India das Ziel kultureller Entwicklung mit einem ganz bestimmten technischen Entwicklungspfad.

Der Erfolg dieses Pfades wird davon abhängen, inwiefern es gelingt, den Zugang zu digitalen Techniken und ihre Anwendung auf der kollektiven Ebene barrierearm und benutzerfreundlich zu gestalten. Beide Anforderungen – Accessibility und Usability – sind nicht ohne die Beachtung der kulturell vorfindlichen Kommunikationsbedingungen umsetzbar. Im Folgenden werden sie als grundlegende Eigenschaften der technischen Gestaltung der Digitalisierung betrachtet.

2 Accessibility und Usability als Ausdruck der kulturellen Kommunikationsbedingungen

Warum ist die Industrialisierung Indiens gescheitert und was bedeutet das für die Digitalisierung? Die Industrialisierung war nach der Unabhängigkeit planmäßig als Modernisierung verfolgt worden. Die Entscheidung für eine bestimmte Form technischer Entwicklung ist dabei im Wesentlich losgelöst von sozialen, religiösen und ethischen Dynamiken gedacht worden. Obwohl Indien auch damals ein hochreligiöses Land war, ging Nehru davon aus, dass Religion in der zu schaffenden modernen Gesellschaft keine bedeutende Rolle spielen wird. Ab den 1970er Jahren hat ein Umschwung stattgefunden. Es wurde klar, dass Indien im Wesentlichen noch lange Agrarland bleiben wird. Durch die wirtschaftliche Öffnung ist aus planmäßiger Modernisierung eine sich zwischen politischer Planung und wirtschaftlicher Dynamik abspielende kapital- und technologiebasierte Modernisierung geworden. Westliche Konzepte wurden stärker kritisiert, zugleich haben die religiösen Flügel der politischen Landschaft Aufwind erhalten. Wenn die Regierung heute Digitalisierung mit Armutsbekämpfung verknüpft, dann reagiert sie auf diese kritischen Entwicklungen.

Durch die Neubewertung kultureller Faktoren kommt den sozialen Fragen und den ethischen wie religiösen Prämissen mehr Beachtung zu. Die Digitalisierung ist heute besonders für die auf dem Land engagierten Nichtregierungsorganisationen und auch für religiöse Akteure wie die Kirchen eine neue sozialpolitische und theologische Herausforderung. Umgekehrt zeichnet sich eine verstärkte Abhängigkeit der Digitalisierung von ELSA-Faktoren ab.

2.1 Faktoren der Accessibility

Ein Hauptproblem der Teilhabe am öffentlichen Leben ist die Kastenfrage. Anfang des Jahrhunderts begannen NGOs damit, die Dörfer in den Ostghats, dem Bergrücken südlich von Kalkutta, mit Computern auszustatten. In jedem Dorf einer Region im Bundesstaat Orissa wurde ein PC gestiftet, die Stromversorgung war über Wasserkraft oder Solaranlagen eingeführt worden. Problematisch war der Zugang zu den Systemen. In manchen Dörfern wurden die Computer, damit sie gut geschützt sind, in den besten und sichersten Häusern vor Ort untergebracht. Dies waren aber die Häuser der dominierenden Kasten. Angehörige unterer Kasten oder gar Kastenlose haben zu diesen Häusern keinen Zutritt [De01]. Wird als Alternative ein Gemeinschaftshaus errichtet,

dann löst sich das Problem nicht. Sobald der Ort von einem Dalit, einem Unberührbaren, betreten wird, ist er unrein. Dann sind die Kastenhindus ausgeschlossen bzw. schließen sich selbst aus.

Ein ähnliches Problem wie für die Kastenlosen im Allgemeinen ergibt sich für die Frauen im Besonderen. In meiner Zusammenarbeit mit indischen Kirchen kommunizierte ich u.a. mit einer Pfarrerin, die für die Frauenarbeit ihrer Kirche zuständig ist. Hier ergaben sich gleich zwei Problemfelder: das Mobiltelefon und der Computer. Wenn die Pfarrerin angerufen wurde, dann ging ihr Ehemann an das Telefon. Da bedeutete, dass jede Frau, die ein seelsorgerliches Problem hatte, zuerst den Mann von der Wichtigkeit ihrer Angelegenheit überzeugen musste, bevor sie mit der Pfarrerin sprechen konnte. Zudem war sie zwar exzellent ausgebildet und konnte eindrucksvoll von ihrer Arbeit berichten; sie konnte aber keinen Computer bedienen. Also gab sie alle ihre handschriftlichen Ausarbeitungen in ein Schreibbüro, das daraus Dateien und Emails erzeugte. Die Dienste dieses Büros musste sie aus dem ohnehin nur unregelmäßig eingehenden Gehalt zahlen. Einer digitalen Weiterbildung steht hier nichts anderes entgegen als die soziale Komponente. Solange das männlich dominierte Umfeld Angst davor hat, dass Frauen als „digital haves“ zu unkontrollierbaren Konkurrenten werden, wird sich das nicht ändern.

Ein weiteres Beispiel für die fehlende Barrierefreiheit von „Digital India“ ist die Demonetarisierung, die Ende 2016 inszeniert worden ist. Die künstlich erzeugte Bargeldknappheit kam zustande, als die großen Rupien-Scheine und damit 86% des umlaufenden Bargelds am 8. November 2016 für ungültig erklärt wurden. Weil die Geldautomaten nicht rechtzeitig mit neuen Noten bestückt worden sind, kam es zu langen Warteschlangen und Tumulten vor den Banken. Auf den Bauernmärkten galten nur noch die kleinen Scheine, so dass ein Großteil der Lebensmittel unverkäuflich wurde und verdarb. Wer größere Bargeldrücklagen, etwa zur privaten Altersversorgung, gebildet hatte, geriet in eine existentielle Notlage. Offiziell begründet wurde diese Demonetarisierung mit der Bekämpfung des Schwarzmarktes. Vor allem betroffen waren aber diejenigen, die nicht die Möglichkeit hatten, auf digitalen Zahlungsverkehr auszuweichen. Inzwischen müssen Unternehmen und NGOs jede größere Bargeldtransaktion melden. Geschäfte dürfen nur noch eine begrenzte Summe an Bargeld vorhalten, insgesamt wird die Digitalisierung des Zahlungsverkehrs massiv vorangetrieben. Daher müssen nun alle Inder ein Konto einrichten, wenn sie am gesellschaftlichen Leben teilhaben wollen. Vor der Demonetarisierung wurden 95% aller Transaktionen bar abgeschlossen. Inzwischen ist die Abschaffung des Bargelds, also die Digitalisierung der gesamten Ökonomie, das erklärte Ziel der Regierung.

Diesem Ziel dient auch eine andere Entwicklung im Finanzsektor, das Ausgreifen von Fintech auf die Entwicklungsländer. In den letzten Jahrzehnten sind Mikrokredite ein beliebtes Mittel entwicklungspolitischer Arbeit geworden. Das rasante Anwachsen dieses Wirtschaftszweiges hat dazu geführt, dass die Armen der Welt zu einem Teil des globalen Wirtschaftskreislaufs geworden sind. Dabei kam es zur Jahrtausendwende zu einem bedeutenden Wandel. Zunächst sollten die Armen nur „Unternehmer“ werden und

bekamen dazu Kredite gestellt. Später haben sich die Kreditgeber als Rundum-Finanzdienstleister angeboten und das Konzept „finanzieller Inklusion“ entwickelt. „Den Armen werden jetzt Kredite, Sparprogramme und Versicherungen zur Verfügung gestellt.“ [Sa14, 125] Die Mikrofinanzunternehmen sehen diese Einbindung der Armen als Teil einer sozialen Revolution und werben damit dass finanzielle Inklusion soziale Inklusion bedeutet: „Unser Ziel ist es, die Mauern der finanziellen Exklusion durchbrechen zu helfen, damit eine Welt entsteht, in der niemand ausgeschlossen ist von dem, was die Gesellschaft zu bieten hat“ [Sa14, 126]. Mit dem Aufkommen von Fintech [Ga16] beginnt nun der dritte Schritt der finanziellen Alphabetisierung [Sh16]. Dabei haben die ersten beiden vor allem gezeigt, dass sich Armut durch ihre Neudefinition nicht bekämpfen lässt. Als die Armen zu Unternehmern erklärt wurden und Kredite bekamen, wurden sie in die finanzielle Abhängigkeit geführt, mehrere Selbstmordwellen in Südindien zeugen davon [Kl14]. Insbesondere Frauen, die die große Mehrzahl der Kreditnehmer ausmachen, sind dem sozialen Druck der Gläubiger sehr leicht ausgesetzt. Später wurde Armut nicht mehr als Geldmangel, sondern als Mangel an Finanzinstrumenten definiert. Fintech steht nun für die Individualisierung dieser Finanzdienstleistungen auf der Basis digital erhobener Daten. Die Erfahrung mit Mikrokrediten zeigt, dass die Abhängigkeit der Menschen von externen Faktoren durch diese Instrumente nicht gesunken ist. Dieser Weg wird sich durch Fintech nur dann nicht weiter fortsetzen, wenn die finanzielle, digitale und kulturelle Alphabetisierung mit einer sozialen Aufwertung der Kreditnehmer, vor allem der Kreditnehmerinnen einhergehen [Ke11].

Fintech und die Demonetarisierung stehen für die Einbindung der Armen in die digitale Gesellschaft und ihre Kommunikation. Beide haben umfangreiche Datensammlungen zur Folge. Bisher gehört das ländliche Indien, wie die meisten anderen Entwicklungskontexte, zu den datenarmen Weltgegenden. Dies wird sich im Zuge der Digitalisierung des Zahlungsverkehrs massiv ändern. Jedoch zeigen die Erfahrungen des Mikrokreditgeschäfts und des Bargeldentzugs, dass auch hier die tatsächlich vorhandenen Zugangsmöglichkeiten vor allem die soziale Stellung der (potentiellen) Kommunikationsteilnehmer ausdrücken.

2.2 Faktoren der Usability

Neben dem Zugang zu digitalen Technologien ist auch die „Benutzerfreundlichkeit“ von kulturellen Faktoren abhängig. So hat Indien 22 Amtssprachen und viele weitere Lokal- und Stammessprachen, deren Präsenz in der digitalen Welt eher Aufgabe als Tatsache ist. Am weitesten verbreitet sind Hindi, Tamil und Englisch, bisher ist Englisch die Sprache der digitalen Welt. Allerdings sind nur 20% der Bevölkerung mit dem Englischen vertraut [ToI14]. Dabei können nur 8% als aktive Nutzer des Englischen gelten. Die meisten Schulkinder lernen in einer Lokalsprache. Diese Situation führt dazu, dass sich die lingualen Anforderungen an die Technologien verändern. Zum Beispiel müssen sich digitale Dienstleister darauf einstellen, Adressen (Email, WhatsApp etc.) in regionalen Sprachen zur Verfügung zu stellen. Erste Anbieter wie Data Xgen

Technologies sind dabei, E-Mail-Adressen per Sprachsteuerung zu ermöglichen ('Datamail').

Die Benutzung der bereits angesprochenen digitalen Gesundheitskarten haben ähnlich problematische Voraussetzungen. Die für die Verteilung der Karten zuständigen Behörden haben sie oftmals in den Dörfern vergeben, ohne mitzuteilen, wozu die Karten da sind und wie sie eingesetzt werden können. Oftmals wurden seitens der NGOs dann im Nachhinein entsprechende Lehrgänge durchgeführt. Doch auch wenn die Einsatzmöglichkeiten der Karten im Großen und Ganzen klar sind, bleiben vielfach ungelöste Probleme bestehen. In ein Krankenhaus kann nur gelangen, wer entweder weit laufen kann oder eine Mitfahrgelegenheit, mindestens bis zur nächsten Busstation, findet. Das System der Abrechnung zwischen Krankenhaus und Staat ist nicht für jeden durchschaubar. Wenn ein Patient wegen fehlender Voraussetzungen nicht „auf Karte“ behandelt werden kann, kommt es mitunter zu Tumulten durch die Angehörigen. Die Krankenhäuser hatten in der Anfangsphase ebenfalls Probleme, ihre Abrechnungen anerkannt zu bekommen.

Ähnlich gelagert ist die Erfassung der Anwesenheit von Schülerinnern und Schülern (SuS) in Schulen und Wohnheimen. Wegen der unterschiedlichen Feiertage, der Ernte oder familiärer Ereignisse kommt es hier immer wieder zu Abwesenheiten. Die biometrische Erfassung der Anwesenheit ist ein adäquates Mittel, um nicht zuletzt fördernden Institutionen gegenüber die tatsächliche Anzahl der SuS bescheinigen zu können. Jedoch ergibt sich dann für die Kinder das Problem, dass sie tatsächlich da sein müssen. Da viele Eltern die Hilfe bei der Ernte für wichtiger erachten, geraten nun die Kinder in einen Gewissenskonflikt, der ohne die digitale Erfassung der Anwesenheit von den Lehrerinnen und Lehrern getragen worden ist (zumeist indem die Abwesenheit toleriert wurde). Nun müssen die SuS oder die Lehrer das individuelle, analoge Gespräch mit den Eltern suchen.

3 Die Bedeutung der Kommunikationsbedingungen im IoTS

Diese wenigen Beispiele zeigen, wie digitale Technologien die in einer Gesellschaft vorhandenen Kommunikationsbedingungen widerspiegeln. Die Einrichtung sprachgesteuerter Email-Adressen reflektiert die sprachliche Diversifikation Indiens und setzt diese Diversifikation technisch fort. Im restriktiven Zugang von Frauen zu Computern und digitalen Weiterbildungsmöglichkeiten findet die patriarchale Struktur der Gesellschaft ihre Prolongation. An der Digitalisierung des Zahlungsverkehrs leiden zurzeit vor allem die Kastenlosen, die bisher ausschließlich bargeldgebunden gehandelt haben. Die digitale Nutzung von Daten im Sozialbereich (Gesundheit, Bildung) verstärkt oder offenbart andere immer schon vorhandene Probleme wie die Komm-Strukturen von Krankenhäusern und Schulen, ohne sie zu lösen.

Die bisherigen Erfahrungen mit der analogen Alphabetisierung lassen eventuell Rückschlüsse auf die Chancen der digitalen Alphabetisierung erkennen. Insbesondere

das Ziel, die Herkunft der Menschen weniger relevant für ihre sozialen Kooperationen zu machen, wurde im Zuge der Industrialisierung deutlich verfehlt. Die Hohepriester der Digitalisierung verkünden nun, die Industrialisierung überspringen und aus einem Agrarstaat direkt in eine postindustrielle Nation überwechseln zu wollen. Auch wenn dies angesichts der globalen Entwicklungen möglich erscheint, stellt sich die Frage, warum sich Smart Cities als Orte des IoTS anders zu ihrer Umgebung verhalten sollten als Stahlstädte als Orte einer Industriekultur.

Visionen der gesellschaftlichen Transformation durch technologische Innovationen ohne Rücksicht auf ihre Einbettungsfaktoren beeinflussten nicht nur Nehrus Indien, sondern bestimmten in vielen Ländern die Agenda. In Brasilien [Di10] und Indonesien [Ru10] war man ebenso davon ausgegangen, dass sich Industriegesellschaften grundsätzlich von ihren Vorgängern unterscheiden und dass sie sich unabhängig von der vorherigen Prägung bilden lassen. Auch Nordafrika bot Beispiele für diese Sicht [Ma13] und die Zusammenarbeit der Ostblock-Staaten mit Ländern wie Mosambik und Nicaragua war ebenso von dem Gedanken getragen, dass sich die unterschiedlichen Prägungen der Gesellschaften durch Technik nivellieren lassen. Dies alles geschah nicht ohne eine Vorgeschichte, die in der Wirtschafts- und Sozialphilosophie des 19. Jahrhunderts zu suchen ist, hier jedoch nicht ausgebreitet werden kann [Ma73].

Enden die Smart Citys von Digital India wie die Bewässerung Kasachstans durch Amudarja und Syrdarja, die zur Austrocknung des Aralsees geführt hat oder wie der Marshallplan, der die Demokratisierung Westeuropas befördern konnte?

Die Annahme, technologische Modernisierung unabhängig von religiöser und sozialer Zugehörigkeit betreiben zu können, hat sich in der indischen Geschichte als Irrtum erwiesen. Was bedeutet dieser Befund für die Ausgangsfrage, ob sich die gesellschaftliche Kommunikation den neuen Medien anpasst, ob sich also das Verhalten von Kollektiven durch technische Vermittlung ändert? Es bedeutet, dass der Digitalisierungsprozess nicht nur in der Einführung von Technologien, sondern auch und gerade in ihrer Gestaltung und in ihrer Nutzung von den Bedingungen, in die er eingebettet ist, abhängt. Wenn die Kollegien indischer Unternehmen heute immer noch hochgradig homogen sind, dann heißt das, dass die soziale Vorauswahl dem gesamten System von der Ausbildung bis zum Arbeitsvertrag inhärent ist. Welchen Grund sollte es geben, dass digitale Agenten diese Auswahl nicht mehr vollziehen, die Programme also soziale Belange übergehen?

Damit steht nicht in Abrede, dass es auch Rückwirkungen im Sinne der genannten These gibt. So wie die Schreibmaschine in Europa den Berufszweig der Sekretärin hervor gebracht hat, hat die Digitalisierung durchaus das Potential, die Emanzipation von Frauen in Indien zu beflügeln; sie wird sie aber nicht verursachen. Die technologischen Programme sind nicht mit der gesellschaftlichen Programmatik zu verwechseln! Die Ursache für die sich bessernde Gesundheitsversorgung ist nicht die Gesundheitskarte, sondern die Hinwendung zu einem Sozialsystem. Das Internet ist für die Stammesdörfer nur deshalb ein Fenster zur Welt, weil es ein Gegenüber gibt, das sich selbst in diesem

Fenster sichtbar macht. Ob sich in dieser Auseinandersetzung das Kommunikationsverhalten, also beispielsweise die *Culture of Silence* der Indigenen verändert, ist von vielen anderen Faktoren abhängig, etwa von der Bewertung von Bildung und Weltläufigkeit für die junge Generation.

Die Bedingungen gesellschaftlicher Kommunikation, also ihre Regeln und Grundlagen, entspringen den Einbettungsfaktoren des Digitalen und nicht ihm selbst. Der Einsatz des Internets in China und Indien unterscheidet sich schon heute dramatisch. Ob das IoTS diese Unterschiede verstärkt oder lindert, ist zunächst von seinen Rahmenbedingungen und nicht von ihm selbst abhängig. Die Wechselwirkungen zwischen digitalen Medien und sozialer Kommunikation auf der individuellen Ebene leiten dazu an, den kollektiven Prozess nicht als technischen, sondern als sozialen Prozess zu begreifen und die kulturellen Prägungen, die er offenlegt, auf ihre Tragfähigkeit in der digitalen Kultur hin zu prüfen. Sie leiten ebenso dazu an, Smart Citys nicht nur als Anwendungsorte von Technologien zu begreifen, an denen Menschen nur noch am Rande vorkommen, sondern die ‘informelle Energie’ [Se12], also die sozialen Bedingungen der Kommunikation, die für das Zusammenleben einer Gesellschaft entscheidend sind, in die Technikgestaltung einzubeziehen. Sie leiten schließlich dazu an, Entwicklungen wie das IoTS nicht losgelöst von sozialen Prozessen zu betrachten, die auch gegenläufig sein können, ihm also keine messianischen Qualitäten zuzusprechen.

Literaturverzeichnis

[Bh74] Bhardwaj, K.: Production Conditions in Indian Agriculture. A Study Based on Farm Management Surveys, Cambridge University Press, London, 1974.

[Bh84] Bhaduri, A.: The Economic Structure of Backward Agriculture, Macmillan, Delhi, 1984.

[De01] Dev Sood, A: How to Wire Rural India. Problems and Possibilities of Digital Development. Economic and Political Weekly, S. 4134-4141, 2001.

[Di10] Dinius, Oliver J.: Brazil‘s Steel City: Developmentalism, Strategic Power, and Industrial Relations in Volta Redonda, 1941-1964, Stanford University Press, Stanford, 2010.

[Ga16] Gabor, D., Brooks, S.: The digital revolution in financial inclusion: international development in the fintech era. New Political Economy, S. 1-14, 2016, http://dx.doi.org/10.1080/13563467.2017.1259298

[Jo08] Jodhka, S. S.: Religion and development in India: an introduction. In (Jodhka, S. S.): Religions and Development Research Programme, India: some Reviews of Literature related to Religions and Development, Working paper 10, Religions and Development, Birmingham, S. 3-18, 2008.

[Ke11] Kefela, G.: Implications of financial literacy in developing countries. African Journal of Business Management 5(9), 2011.

[Kh03] Khilnani, S.: The Idea of India, London: Penguin Books, 2003, [1]1997.

[Ki03] Kim, Sebastian C. H.: In Search of Identity. Debates on Religious Conversion in India, Delhi: Oxford University Press, S. 201ff., 2003.

[Kl14] Klas, G.: Indien: In Klaas, G., Maader P.: Rendite machen und Gutes tun? Mikrokredite und die Folgen neoliberaler Entwicklungspolitik, Campus-Verlag, Frankfurt/M., S. 73-82, 2014.

[Ke09] Kendra, M. A.: The first development-caused displacements in India: The forgotten people of Bhakra Nangal. *Beyond relocation: The imperative of sustainable resettlement*, S. 133, 2009.

[Ma13] Makram-Ebeid, D.: Manufacturing Stability: Everyday Politics of Labour in an Industrial Steel Town in Helwan, Egypt, London School of Economics and Political Science, London, 2013.

[Ma73] Marx, K.: Das Kapital. Kritik der politischen Ökonomie. Erster Band. Dietz Verlag, Berlin, 1973, [1]1890.

[Pa91] Parekh, B.: Nehru and the national philosophy of India. In: Economic and Political Weekly, XXVI (1 and 2), S. 35, 1991.

[Ru10] Rudnyckyj, D.: Spiritual Economies. Islam, Globalization, and the Afterlife of Development. Cornell University Press, Ithaca, 2010.

[Sa14] Sabrow, S.: Der Strategiewechsel in der Mikrofinanz: Vom Unternehmerkredit zur «finanziellen Inklusion». In Klaas, G., Maader P.: Rendite machen und Gutes tun? Mikrokredite und die Folgen neoliberaler Entwicklungspolitik, Campus-Verlag, Frankfurt/M., S. 123-132, 2014.

[Se12] Sennett, R.: The stupefying smart city. In Burdett, R., Rode, P.: LSE Cities. London School of Economics, London, S. 16f., 2012.

[Sh16] Shankar, S.: Bridging the “Missing Middle” between Microfinance and Small and Medium-Sized Enterprise Finance in South Asia. Working Paper No. 587, Asian Development Bank Institute, 2016.

[St14] Strümpell, C.: The Making of a Working Class in West-Odisha. Humboldt-Universität, Berlin, 2014.

[Th12] Thomas, P. N.: Digital India: understanding information, communication and social change. SAGE, Delhi, 2012.

[Th56] Thorner, D.: The Agrarian Prospect of India. Oxford University Press, Delhi, 1956.

[ToI14] Times of India: TOI manifesto: An agenda for the new government. Online-Ausgabe der “Times of India”, http://timesofindia.indiatimes.com/home/specials/lok-sabha-elections-2014/news/TOI-manifesto-An-agenda-for-the-new-government/articleshow/31973967.cms, 12. April 2017.

[ToI16] Times of India: Government aims to give 'Digital India' benefits to farmers: PM Modi, The Times of India, 18.2.2016.

[Zi15] Zingel, W.-P.: Rourkela und die Folgen. 50 Jahre industrieller Aufbau und soziale Verantwortung in der deutsch-indischen Zusammenarbeit. ADIVASI-

KOORDINATION IN DEUTSCHLAND e.V. (Hg.). Internationales Asienforum 41.1-2, S. 128-130, 2015.

IT-Rettung 2017: IT-Unterstützung in Emergency Management & Response

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 1281

IT-Rettung 2017: IT-Unterstützung in Emergency Management & Response

Jens Pottebaum[1], Christian Erfurth[2] und Christian Reuter[3]

1 Motivation

Notfallsituationen sind kritische Situationen, in denen eine Gefahr für Menschen, Infrastrukturen und die Umwelt besteht. IT-Unterstützung kann in der Vermeidung sowie der Verbesserung der Vorbereitung, der Abwehr und der Bewältigung helfen komplexe und kritische Situationen zu beherrschen. Allerdings zeigen Erfahrungen, dass der Einsatz von IT als operatives Einsatzmittel oder Entscheidungsunterstützungswerkzeug auch für eine Zunahme der gefühlten Komplexität einer Einsatzlage bei vielen Beteiligten sorgen kann. Im Fokus des Workshops stehen die Herausforderungen und technischen Konsequenzen, die sich für die IT in diesem Umfeld ergeben. Neben der Ergebnisdarstellung werden vor allem Erfahrungen aus der Anwendung wissenschaftlicher Methoden im Kontext der zivilen Sicherheit adressiert. Ziel des Workshops ist es, aus fallstudienorientierten Beiträgen – diese ergeben sich unter anderem aus der Struktur der Förderlandschaft in der zivilen Sicherheitsforschung – übertragbare Schlüsse abzuleiten.

2 Angenommene Beiträge

Das Workshop-Thema greifen fünf Beiträge aus unterschiedlichen Perspektiven auf.

Betke et al. thematisieren in ihrem Beitrag „*Informationssysteme im Katastrophenmanagement – Entwurf eines Koordinatensystems für ungebundene Helfer*“ Voraussetzungen für eine effektive Koordination physischer Helfer, die spontan und ungebunden am Einsatzort helfen. Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BOS) sollen in Krisensituationen darin unterstützt werden, diese Helfer vor Ort zu koordinieren. Zudem entwerfen Betke et al. ein Konzept für eine Systemarchitektur.

Im Beitrag „*Mobile Unterstützung für Hilfsorganisationen in Krisensituationen – Anforderungsanalyse und prototypische Umsetzung einer Smartwatch App*“ behandeln Mirbabaie et al. die Nutzung von Smartwatches in Krisensituationen für schnellere und effizientere Informationsverbreitung. Mithilfe einer Studie wurden Mitarbeiter von rettungshelfenden Organisationen interviewt, um die Anforderungen an Smartwatches her-

[1] Heinz Nixdorf Institut, Universität Paderborn, Fürstenallee 11, 33102 Paderborn, jens.pottebaum@hni.upb.de
[2] Ernst-Abbe-Hochschule Jena, Carl-Zeiss-Promenade 2, 07745 Jena, christian.erfurth@eah-jena.de
[3] Universität Siegen, Kohlbettstraße 15, 57072 Siegen, christian.reuter@uni-siegen.de

doi:10.18420/in2017_129

auszuarbeiten. Zudem wird die App MANVred vorgestellt, die die Kommunikation zwischen Einsatzkräften und Einsatzleitung verbessern soll.

Im Beitrag „*BPMN for Disaster Response Processes – A methodical extension*“ beschäftigen sich Betke und Seifert mit der Anwendung von Business Process Management im Disaster Response Management. Sie stellen Effektivität und Effizienz als Vorteile heraus, die helfen, Disaster Management besser zu planen und zu überwachen. Aufgrund der Verbreitung und der Reife der verfügbaren Tools empfehlen sie zudem die Anwendung einer Standard-Modellierungssprache wie Business Process Model and Notation (BPMN). Hierbei ist eine Ergänzung des Standards notwendig, die im Beitrag herausgearbeitet wird.

Kaufhold et al. setzen sich in ihrem Beitrag „*Social Media Analytics: Eine Marktstudie im Krisenmanagement*“ mit Systemen für die Verarbeitung und Analyse großer Datenmengen auseinander. Hierbei werden sowohl generelle Systeme vorgestellt als auch jene, die speziell im Krisenmanagement eingesetzt werden. Es erfolgt eine Klassifizierung der verschiedenen Systeme in Klassen und eine Kategorisierung hinsichtlich ihrer Eignung für die Analyse sozialer Medien.

Im Beitrag „*Vorgehens- und Datenmodell zur strategischen Planung innovativer Dienstleistungen im Katastrophenschutz*“ diskutieren Pottebaum et al. die Übernahme von Aufgaben des Selbstschutzes und die adäquate Vorbereitung auf Gefahren in Krisensituationen. Sie erläutern das Problem, dass IT-Dienste (mobile) Applikationen entwickeln, die den Risiken des Sicherheitsmarktes ausgesetzt sind. Hierfür wird ein Vorgehens- und Datenmodell entworfen, das ermöglicht, existierende Daten zu nutzen, die diese Risiken beschreibbar und bewertbar machen können.

3 Programmkomitee

Christian Erfurth	Ernst-Abbe-Hochschule Jena
Therese Habig	Universität Paderborn
Simon Nestler	Hochschule Hamm-Lippstadt
Georg Neubauer	Austrian Institute for Technology (AIT)
Jens Pottebaum	Universität Paderborn
Christian Reuter	Universität Siegen
Thomas Rose	Fraunhofer FIT

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 1283

Informationssysteme im Katastrophenmanagement – Entwurf eines Koordinationssystems für ungebundene Helfer

Hans Betke[1], Sebastian Lindner[1], Stefan Sackmann[1], Sophie Gerstmann[2]

Abstract: Bedingt durch die Verbreitung neuer Informationstechnologien wie sozialer Netzwerke und mobiler Endgeräte werden Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BOS) bei Großschadenslagen vor neue Herausforderungen gestellt, wenn es darum geht, ungebundene, spontane Helfer vor Ort zu koordinieren. Basierend auf einer Analyse der Wirkungszusammenhänge zwischen Kommunikation, Koordination und Kooperation werden Voraussetzungen für eine effektive Koordination solcher physischer Helfer untersucht, ein Konzept für eine Systemarchitektur entwickelt und dieses als Grundlage für weitere Forschungen diskutiert.

Keywords: Freiwillige und ungebundene Helfer, Spontanhelfer, Koordination, Systemarchitektur, Katastrophenmanagement

1 Koordination ungebundener Helfer

Bei der Bewältigung von Großschadenslagen wie z. B. Naturkatastrophen leisten freiwillige Helfer seit jeher einen wesentlichen Beitrag, indem sie die offiziellen Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BOS) unterstützen. Aktuell wandelt sich jedoch die Art und Weise dieser Unterstützung: Zum einen geht die Bereitschaft zum ehrenamtlichen Engagement auf gesellschaftlicher Ebene zurück und damit auch die Bereitschaft, sich an etablierte Organisationen zu binden [Ka14]. Dies erfordert, die bisher etablierten Herangehensweisen bei der Einbindung und Aktivierung freiwilliger Helfer im Katastrophenfall neu zu denken. Zum anderen verändern sich das Engagement und die Zusammenarbeit der freiwilligen Helfer massiv durch die Verfügbarkeit von mobilen Endgeräten und sozialen Medien massiv, wie bspw. das Mitteleuropäische Hochwasser 2013 oder der Hurrikan Katrina zeigten. Die innovativen Möglichkeiten zur Zusammenarbeit und Vernetzung stellen dabei sowohl neue Herausforderungen dar als auch eine Chance, die enorme Hilfsbereitschaft der Bevölkerung nutzbar zu machen und freiwillige Helfer zukünftig zielgerichtet einzubinden.

Die ungebundenen, freiwilligen und über soziale Medien vernetzten Helfer, welche nicht durch ihren Beruf oder Ehrenamt in BOS oder sonstigen Hilfsorganisationen tätig sind, lassen sich im Kern in zwei Arten von Helfern einteilen [WMH15]: Sogenannte „digitale Freiwillige“ oder „Digital Volunteers“ und „physische Freiwillige“. Erstere nutzen Informationstechnologie direkt und unmittelbar zur Gewinnung und Distribution von

[1] Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Lehrstuhl für Wirtschaftsinformatik, insb. betriebliches Informationsmanagement, Universitätsring 3, 06108 Halle, vorname.nachname@wiwi.uni-halle.de
[2] E-Mail: sophie.gerstmann@student.uni-halle.de

doi:10.18420/in2017_130

wichtigen Informationen der herrschenden Schadenslage, bspw. für die BOS oder die betroffene Bevölkerung. Im Zuge des verheerenden Erdbebens in Haiti im Januar 2010 haben digitale Helfer beispielsweise weltweit zusammengearbeitet. Mit Hilfe einer Crowdsourcing-Plattform wurden Informationen aus SMS und sozialen Medien zusammengetragen, analysiert, aggregiert und visualisiert, sodass Hilfsorganisationen vor Ort ihre Aktivitäten wesentlich besser organisieren konnten [SP11].

Im Gegensatz dazu bieten physische Helfer ihre Arbeitskraft und Unterstützung direkt in räumlicher Nähe der Schadenslage an. Informationstechnologie wird von diesen Helfern hauptsächlich zur Koordination eigener Hilfeleistungen und Informierung über mögliche Einsatzorte und Hilfsbedarfe genutzt. Im Verlauf des Jahrhunderthochwassers in Mitteleuropa im Jahr 2013 wurden behördliche Einsatzkräfte vielerorts durch zigtausende physische Helfer bei ihrer Arbeit unterstützt [Ki14]. Diese tauschten sich vielfach über soziale Medien wie Facebook oder Twitter zu potentiellen Hilfsmöglichkeiten aus und organisierten sich spontan und ohne Abstimmung mit dem Katastrophenmanagement. Erfahrungsberichte zeigen zum einen das enorme Hilfspotential, das aktiviert werden konnte und zum anderen, dass einige Einsatzorte von physischen Helfern weit über Bedarf besucht wurden, während an anderen Orten weiterhin dringend Hilfe benötigt wurde. Die BOS, welche für die Bewältigung von Großschadenslagen verantwortlich sind, waren vom spontanen Hilfsangebot der Bevölkerung häufig überfordert und konnten die Helfer gerade in den kritischen Phasen des Schadensereignisses nicht effektiv koordinieren [Eb13]. Die enorme Selbstorganisation der spontanen, physischen Helfer ist nicht in die bewährten Einsatzführungsstrukturen eingebunden und damit entzieht sich das Hilfspotential dem Einfluss der Krisenstäbe. Defizite in der Koordination können dazu führen, dass Hilfspotential verschwendet wird, die Motivation zur freiwilligen Hilfe nachlässt oder gar kontraproduktive Tätigkeiten durchgeführt werden, die zu Mehraufwänden oder zusätzlichen Schäden führen können [Ki14].

Im Rahmen dieses Forschungsbeitrages wird die unzureichende Koordination von spontanen, physischen Helfern durch offizielle Organe des Krisenmanagements (BOS) adressiert. Im Fokus steht dabei die Konzeption eines Helfer-Koordinationssystems, welches moderne Informationstechnologien nutzt, um Helfer mit Hilfe individueller, teilautomatisierter Kommunikationsabläufe bedarfsgerecht an geeignete Einsatzorte zu vermitteln. Der Forschungsbeitrag ist Teil eines Forschungsprojekts, welches die Entwicklung, die Umsetzung und die Evaluation eines Helfer-Koordinationssystems zum Ziel hat, das sowohl die unterschiedlichen Anforderungen aller Akteure als auch die Automatisierung der Koordination zum Ziel hat, um die „Ressource“ Helfer über die Zeit möglichst effizient und effektiv einsetzen zu können. Methodisch folgt das Forschungsvorhaben dem Design-Science-Research (DSR) nach Peffers et al. [Pe06]. Der vorliegende Beitrag dient hierbei insbesondere der Problemidentifikation (Phase 1), der darauf aufbauenden Ableitung konkreter Forschungsziele (Phase 2) und der Kommunikation (Phase 6). Die Problemidentifikation wird durch eine Literaturanalyse in Kapitel 2 sowie die Diskussion der Koordinationsproblematik bei physischen Helfern in Kapitel 3 adressiert. In Kapitel 4 wird eine neue Softwarearchitektur konzeptionell entworfen und diskutiert, die benötigte Funktionsweise eines Helfer-Koordinationssystems adressiert und damit Ziele

für die Entwicklung des konkreten Lösungsartefaktes (nach Peffers et al. Gegenstand der Phase 3) definiert. Die Arbeit schließt mit einer Zusammenfassung der Ergebnisse und dem Ausblick auf zukünftige Forschungsarbeiten.

2 Koordination freiwilliger Helfer in der aktuellen Forschung

Im Folgenden wird der Stand der Forschung bezüglich des Einsatzes von IT zur Koordination ungebundener, freiwilliger Helfer analysiert und die durch den vorliegenden Beitrag adressierte Forschungslücke abgeleitet. Hierfür werden die identifizierten Arbeiten zunächst anhand der grundlegenden Gestaltungsebenen computergestützter Zusammenarbeit, der Kommunikation, Kooperation oder Koordination [TE95] zugeordnet. In diesem Zusammenhang ist Kommunikation definiert als Informationsaustausch zwischen zwei oder mehreren Gruppenmitgliedern. Kooperation umfasst die gemeinschaftliche Bewältigung konkreter Aufgaben, während die Koordination die Steuerung der Zusammenarbeit durch die Definition von Zielen und der zur Zielerreichung erforderlichen Aufgaben beinhaltet [Te96].

Die **Kommunikation** stellt die Grundlage der Kooperation und Koordination dar und wird in verschiedenen Arbeiten mit Bezug zu ungebundenen, freiwilligen Helfern näher betrachtet. Hierbei werden im Wesentlichen zwei Arten der Kommunikation unterschieden, zum einen die Kommunikation ungebundener Helfer untereinander [SP10] und zum anderen die Kommunikation zwischen ungebundenen Helfern und dem Katastrophenmanagement [LR10]. Als zentrales Werkzeug beider Arten der Kommunikation werden vor allem soziale Medien betrachtet, da diese aus Sicht der jeweiligen Autoren eine gute Möglichkeit bieten, ungebundene Helfer in das Katastrophenmanagement einzubeziehen [RMP11]. Insbesondere soziale Netzwerke werden als vielversprechendes Instrument zur interaktiven und bidirektionalen Kommunikation untersucht. Reuter et al. regen bspw. an, dass durch den gezielten Einsatz von sozialen Netzwerken, Selbsthilfe gefördert und auf die Verbreitung von Fehlinformationen unmittelbar reagiert werden kann [RHP13].

Auf der Ebene der **Kooperation** untersuchen die Beiträge mehrheitlich Hemmnisse, welche auf Seiten der Hilfsorganisationen zur Einbindung digitaler Helfer bestehen, und wie diese bspw. durch den Einsatz sozialer Netzwerke überwunden werden können. So werden Augenzeugenberichte von vor-Ort-Helfern als Mehrwert bezüglich einer (ersten) Einschätzung von Schadenslagen und benötigter Hilfe diskutiert (z. B. [BPW14]). Darüber hinaus erfolgen Analysen, wie die Bevölkerung auf offizielle Warnungen und Meldungen reagiert (z. B. [SP11]). Starbird und Palen kommen mit Blick auf digitale Helfer zum Schluss, dass die Arbeit über das bloße Erfassen von Informationen hinausgeht und eine Kooperation entsteht, in der digitale Helfer zusammen mit Hilfsorganisationen und anderen Mitwirkenden in der Soforthilfe einen wichtigen Beitrag beim Wiederaufbau von Katastrophengebieten leisten [SP11]. In wie weit das Katastrophenmanagement durch eine solche Kooperation tatsächlich unterstützt werden kann oder sollte, ist nach

der aktuellen Literaturlage jedoch umstritten. Tapia et al. kommen bspw. zum Ergebnis, dass die Informationen häufig nicht den formalen und qualitativen Standards der Hilfsorganisationen entsprechen und die fehlende Verlässlichkeit mit einem hohen Verifizierungsaufwand verbunden ist [TMJ13]. Dies wiederum wird auf Seiten der Helfer als mangelnde Wertschätzung interpretiert, sodass die Zusammenarbeit zwischen freiwilligen Helfern und Hilfsorganisationen auch zu Frustration führen kann [SP11].

Ein weiterer Schwerpunkt der identifizierten Arbeiten liegt auf der Kooperation digitaler Helfer untereinander. Der Fokus liegt überwiegend auf der Nutzung von Twitter, da hier die der Kooperation zugrundeliegende Kommunikation frei einsehbar und systematisch auswertbar ist. Es zeigt sich, dass, obwohl digitale Helfer oftmals einzeln und ungebunden agieren, Helfer mit gleichen Zielen oder ähnlichen Tätigkeiten sich in Online-Communities zusammenschließen und damit eine effektivere Kooperation und größere Wirkungsgrade erzielen [SP13].

Die Kooperation zwischen ungebundenen physischen Helfern und den BOS wird hingegen bisher kaum untersucht. Im Vergleich zu ehrenamtlich gebundenen Helfern besitzen diese i.d.R. keine fachlichen Fähigkeiten und Kenntnisse bezüglich eines möglichen Gefahreneinsatzes oder diese sind den BOS zumindest nicht (zuverlässig) bekannt. Aus Sicht des Katastrophenmanagements stellen diese Helfer somit in mehrfacher Hinsicht ein Risiko dar: Fernandez et al. identifizieren die mangelhafte Einbindung als ein Risiko, da die BOS zusätzliche Kräfte zur Einarbeitung und Koordination der ungebundenen Helfer abstellen müssen [FBV06]. Häufig fehlt es dafür jedoch an notwendigen Ressourcen und Strukturen innerhalb der Organisation. Zudem können ungebundene Helfer sich selbst und auch andere in Gefahr bringen oder verletzen, Eigentum beschädigen und dadurch die öffentliche Wahrnehmung der Arbeit der BOS negativ beeinträchtigen.

Der Einsatz ungebundener physischer Helfer vor Ort ist damit nur mit Einschränkungen möglich, für den Einsatz bei Großschadensereignissen mit Gefahrstoff-Freisetzung oder Polizeieinsätzen sind sie bspw. nicht geeignet [Bb17]. Kalisch et al. diskutieren diesbezüglich, dass diese Helfer vor allem für einfache Tätigkeiten wie Essensausgabe, Aufräumarbeiten oder Sandsack-Befüllung eingesetzt werden können [Ka14]. Darüber hinaus können (berufliche) Qualifikationen und Fähigkeiten durchaus genutzt werden: Beispielsweise können Sozialpädagogen auch zur Betreuung von Kindern eingesetzt werden, was jedoch immer voraussetzt, dass die Qualifikation nachweislich bekannt sein muss. [Ki14] diskutiert, dass in diesen eingeschränkten oder – zumindest aus Sicht der ungebundenen Helfer – „unterfordernden“ Tätigkeiten oftmals ein hohes Frustpotential verborgen ist, was sich auf die Bereitschaft zur Hilfe nachhaltig auswirken kann. Die Ungebundenheit von Helfern wird von Fernandez et al. jedoch auch als Vorteil beschrieben, da ungebundene Helfer nicht durch organisatorische Regelungen und Strukturen in ihren Hilfstätigkeiten beschränkt sind [FBV06]. Im Gegensatz zu den Einschätzungen der Verlässlichkeit von Informationen im Kontext digitaler Helfer betonen Fernandez et al. die Möglichkeiten, ungebundene Helfer bewusst zu nutzen, um sich ein Bild von Schadensausmaßen vor Ort zu machen und darauf basierend notwendige Maßnahmen zu identifizieren [FBV06].

Die Ebene der **Koordination** ungebundener Helfer ist in den betrachteten Arbeiten zwar als Herausforderung thematisiert, bisher jedoch kaum untersucht. Mit Bezug auf die Koordination werden vor allem Konzepte vorgeschlagen, die die Vertrauens- und Qualitätsproblematik bei der Einbindung digitaler Freiwilliger beseitigen. Bspw. untersuchen Hughes & Tapia die Koordination digitaler Helfer und schlagen Konzepte vor, die die Vertrauens- und Qualitätsproblematik bei der Einbindung digitaler Freiwilliger beseitigen sollen [HT15]. Ein zentrales Ergebnis ist der Vorschlag, dass für eine Koordination digitaler Helfer ein zugangsbeschränktes soziales Netzwerk hilfreich wäre, um sowohl eine zentrale Sicht als auch eine erhöhte Informationsqualität zu erhalten. Die Koordination physischer Helfer wird bei Tim et al. thematisiert, allerdings liegt auch hier der Fokus auf der Nutzung sozialer Netzwerke [Ti13]. Demnach können durch soziale Netzwerke kommunikative und organisatorische Grenzen überwunden und so die Abstimmung von Tätigkeiten unter den Beteiligten generell verbessert werden. Auch Ludwig et al. bieten einen indirekten Koordinationsansatz, der die Visualisierung von aggregierten Informationen aus sozialen Netzwerken über sog. „Public Displays“ verfolgt [Lu17]. Ziel ist es, physischen Helfern durch spezifische Informationen einen Überblick über relevante Einsatzorte und Tätigkeiten zu bieten, ohne jedoch das Katastrophenmanagements in den Koordinationsprozess einzubeziehen.

Als Fazit lässt sich festhalten, dass die Einbindung ungebundener, freiwilliger Helfer in das Katastrophenmanagement wissenschaftlich untersucht wird, der Fokus jedoch auf digitalen Helfern und den Ebenen der Kommunikation und Kooperation liegt. Die Koordination zeigt sich als offenes Forschungsfeld, wobei insb. physische Helfer bisher kaum adressiert werden. Dass hier in der Praxis erheblicher Handlungsbedarf besteht, wurde in der Einleitung verdeutlicht. Im folgenden Kapitel werden daher offene Fragestellungen bezüglich einer Koordination ungebundener physischer Helfer näher untersucht.

3 Koordination ungebundener physischer Helfer

Großschadenslagen der letzten Jahre führten zu einer „Selbstkoordination“ der Helfer, die, wie bereits verdeutlicht, die Ziele der BOS nur teilweise unterstützte. Über die Fehlallokation hinaus wurden für die Schadensabwehr häufig auch irrelevante Aufgaben durchgeführt oder den eigentlichen Zielen des Katastrophenmanagements entgegengewirkt. Als irrelevante Aufgaben wurden insbesondere Tätigkeiten verstanden, die nach Auffassung der BOS nicht Teil der Katastrophenschutzpläne sind [SV16]. Das Potential der Helfer wurde demnach nicht optimal genutzt, offizielle Kräfte zusätzlich belastet und im schlimmsten Falle sogar Menschen gefährdet. Es stellt sich damit in mehrfacher Hinsicht die Frage, in wie weit die Koordination der „Ressource Helfer“ verbessert und einer ineffektiven oder gar unerwünschten Selbstkoordination wirksam durch die BOS entgegengewirkt werden kann.

Ausgangspunkt einer effizienten und effektiven Koordination ungebundener Helfer ist die Beurteilung des Katastrophenmanagements/BOS in Bezug auf die konkrete Scha-

denslage. Auch wenn diese Beurteilung der Ziele und Bedarfe situationsbedingt nicht zwangsläufig optimal ist, so wird die von den BOS angestrebte Zuordnung von Helfern zu Tätigkeiten, Einsatzzeiten und Einsatzorten aus praktischen Gründen als bestmöglich angenommen, da die Mitarbeiter im Katastrophenmanagement zum einen i. d. R. die beste Informationssicht auf die gesamte Schadenslage haben und zum anderen über nachgewiesene Fähigkeiten, Expertise und Erfahrungen aus vorhergehenden Schadenslagen, Schulungen oder Übungen verfügen. Auch die für die Erreichung eines übergeordneten Koordinationszieles erforderlichen Tätigkeiten, können durch BOS besser eingeschätzt werden, bspw. wie viele ungebundene Helfer für die Befüllung von Sandsäcken, deren Transport und die Versorgung der Helfer erforderlich sind, um vor Ort und unter fachlicher Anleitung der offiziellen Hilfskräfte einen Damm zu sichern (= Ziel). Daher werden im Folgenden die Ziele des Katastrophenmanagements als praktisch bestmögliche Grundlage für die Koordination ungebundener Helfer zugrunde gelegt.

Damit die Kooperation der ungebundenen und auch offiziellen Helfer möglichst die Koordinationsziele des Katastrophenmanagements unterstützt, ist die Kommunikation das zentrale Gestaltungsobjekt (siehe Abb. 2), da dies Grundvoraussetzung für die zielgerichtete Abstimmung von Tätigkeiten (Kooperation) ist [Te95]. Hierfür sind unterschiedliche Kommunikationsmodelle denkbar, die wiederum eng mit technischen Kommunikationsmöglichkeiten und -kanälen verbunden sind. Im Kern können diese anhand der in Abb. 3 dargestellten Kommunikationsmatrix kategorisiert werden. Diese stellt zum einen BOS und Helfer jeweils als Informationsquelle und -senke gegenüber und betrachtet zum anderen konkrete Beispiele tatsächlich genutzter Kommunikationswege mit jeweiliger Reichweite (individuell/gezielt (1:1) vs. öffentlich (1:n)).

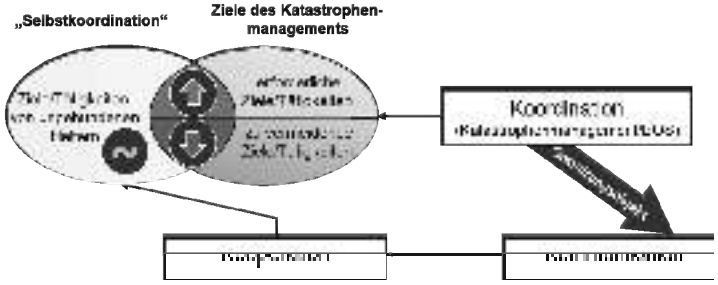


Abb. 2: Koordinationsmodell für ungebundene Helfer

Für die Selbstorganisation greifen Helfer bspw. auf soziale Netzwerke wie Facebook oder Twitter zurück, um sich über mögliche Einsatzorte zu informieren, oder sie nutzen Telefon und Messenger-Dienste, um sich in Gruppen selbst zu koordinieren. Diese Möglichkeiten stehen den BOS prinzipiell ebenfalls zur Verfügung. So können soziale Netzwerke oder (Bürger-)Telefone zum einen genutzt werden, um Informationen von Helfer zu gewinnen, zum anderen können über soziale Netzwerke oder auch Radio und Internetseiten Informationen öffentlich bekannt gemacht werden. Werden diese Möglichkeiten genutzt, um bspw. konkrete Unterstützungsmöglichkeiten bekannt zu machen, so ist damit zumindest einen Teil der Kooperation in Richtung der erwünschten Ziele beein-

flussbar. Allerdings sind mit einer solchen unidirektionale und unspezifische Kommunikation auch Nachteile verbunden: Einerseits ist die Steuerung der Helferanzahl (Überfüllung von Einsatzorten) und deren zeitlich koordinierte Unterstützung (tagsüber zu viele, nachts zu wenige Helfer) kaum möglich, andererseits ist, insb. bei der Kommunikation von Zielen, die jeweilige Interpretation der Helfer von öffentlichen Aufrufen und den daraus resultierenden Tätigkeiten nur eingeschränkt zu steuern.

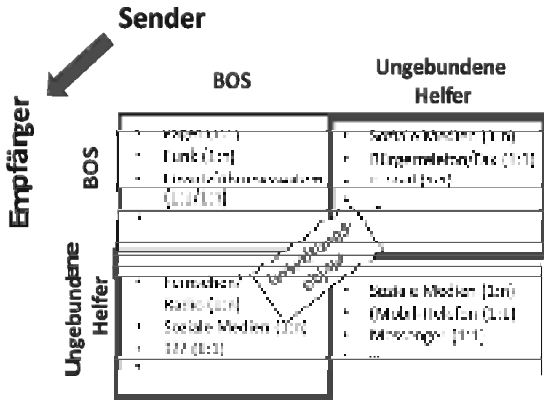


Abb. 3: Kommunikationsmatrix BOS/ungebundene Helfer (angelehnt an [RMP11])

Um einzelnen Helfern entsprechend ihrer Fähigkeiten und Verfügbarkeiten konkrete Tätigkeiten zur Zielunterstützung zuweisen zu können, wäre eine individuelle und bilaterale Kommunikation zwischen BOS und Helfern hilfreich. Eine solche lässt sich bspw. mit Hilfe von Bürgertelefonen realisieren, aber auch diese können nur eine relativ begrenzte Zahl an Kommunikationsvorgängen abdecken, sind in Großschadenslagen meist überlastet und erfordern einen hohen personellen Aufwand. Eine individuelle, bilaterale Kommunikation lässt sich damit zwar prinzipiell erreichen, wäre jedoch von Seiten der BOS bislang nur mit prohibitiv hohem Zeit- und Ressourcen-Aufwand auch zu realisieren. Von besonderem Interesse ist daher die Gestaltung einer bidirektionalen Kommunikation zwischen Katastrophenmanagement und einzelnen Helfern, die in Abb. 3 durch die rote Umrandung abgedeckt wird.

Da es sich bei der Gestaltung der Kommunikation entsprechend der Koordinationsziele des Katastrophenmanagements nicht um eine rein technische oder organisatorische Herausforderung handelt, wird nachfolgend eine umfassende, integrierte Lösung entwickelt, die basierend auf den Koordinationszielen eine automatisierte, bidirektionale 1:1-Kommunikation mit Helfern realisiert. Konzeptionell sind ein solches Helfer-Koordinationssystem und dessen Kernelemente in Abb. 4 veranschaulicht.

Ausgangspunkt ist, wie bereits weiter oben begründet, die Definition von Zielen (bspw. „Bereitstellung von 50.000 Sandsäcken auf dem Marktplatz innerhalb von 16 Stunden“) durch die BOS, die unabhängig von der konkreten Umsetzung und möglichst einfach erfolgen sollte. Entsprechende Ziele können im Rahmen der Katastrophenvorbereitung

definiert werden und müssen vom Helfer-Koordinationssystem anschließend in konkrete Tätigkeiten, benötigte Fähigkeiten sowie Ziel-bezogene Fristen übersetzt werden.

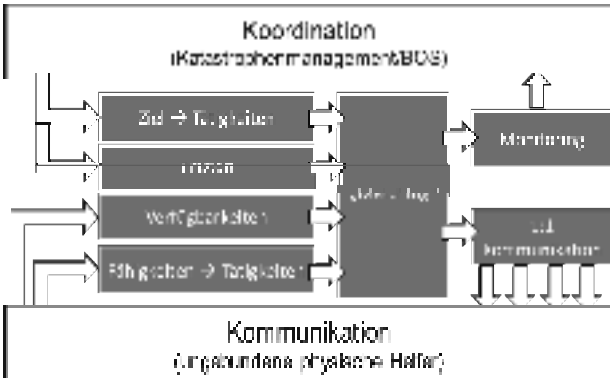


Abb. 4: Funktionsweise eines Helfer-Koordinationssystems

Von Seiten der Helfer sind unabhängig von konkreten Einsatzszenarien ebenfalls minimale Informationen zur Verfügung zu stellen, bspw. Kenntnisse, Fähigkeiten, Standort oder zeitliche Verfügbarkeiten. Dies kann, bspw. im Rahmen einer Vorregistrierung erfolgen oder durch eine spontane Registrierung nach Eintritt eines konkreten Schadensereignisses. Die damit zur Verfügung stehenden Informationen stellen die Basis dar, anhand derer die „richtigen" Helfer für einen Einsatz ausgewählt werden können (Matching). Diese müssen im nächsten Schritt von dem Helfer-Koordinationssystem über die erwünschte Unterstützung informiert werden (automatisierte 1:1-Kommunikation) und sollten die Möglichkeit für eine „Zusage" oder „Absage", z. B. über Aktualisierung der Verfügbarkeit, haben.

Da eine solche Kommunikationsmöglichkeit wie im Stand der Forschung beschrieben bisher nicht näher untersucht oder verfügbar ist, muss ein hierfür geeignetes Helfer-Koordinationssystem bestehende Kommunikationsmöglichkeiten zwischen BOS und Helfern ergänzen. Auf Seiten des Krisenmanagements genügt es i.d.R., den Status quo bezüglich der Zielerreichung im Sinne eines Monitorings zu überwachen und ggf. Nachsteuerungsbedarf, bspw. wenn nicht ausreichend Helfer für eine Zielerreichung zur Verfügung stehen, zu identifizieren. Anhand eines Architekturmodells werden im folgenden Kapitel verschiedene Funktionen als zentrale Ziele für die Entwicklung eines Helfer-Koordinationssystems vorgestellt.

4 Architektur eines Helfer-Koordinationssystems

Für den Entwurf einer Architektur eines Helfer-Koordinationssystems wird auf Forschungserkenntnisse aus dem allgemeineren Bereich der Entwicklung von kollaborativen Software-Systemen zurückgegriffen. Im Kontext kollaborativer Software wird die in-

formationstechnische Unterstützung von Kooperation, Kommunikation und Koordination betrachtet und mögliche IT-Systeme zur Unterstützung der Zusammenarbeit in Gruppen untersucht. In dem 3K-Modell nach Teufel et al. werden die in Abb. 5 dargestellten Werkzeuge zur Realisierung der Unterstützung als geeignet vorgeschlagen [Te95].

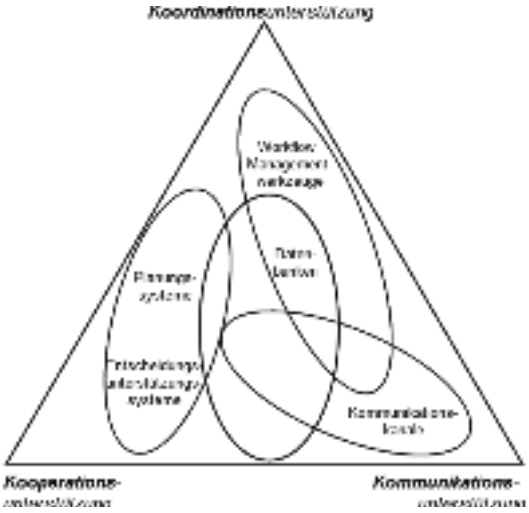


Abb. 5: IT-Unterstützung im 3-K Modell (angelehnt an [Te95])

Da das Helfer-Koordinationssystem die Verbindung zwischen der Koordinationssicht des Katastrophenmanagements und der Kommunikation mit den Helfern herstellen soll, ist es zwischen der **Schnittstelle zu Einsatzführungssystemen (Anforderung 1)** und den von Helfern genutzten Kommunikationssystemen einzuordnen und zu implementieren. Als mögliche IT-Werkzeuge zur Unterstützung werden hierfür die Nutzung von Workflowmanagement-Systemen (WfMS), zentrale Datenbanken und die Erschließung der Kommunikationskanäle als zielführend vorgeschlagen [Te95]. Aus den identifizierten Akteuren, dem in Abb. 4 vorgestellten Koordinationssystem und den in Abb. 5 identifizierten Empfehlungen zur IT-Unterstützung ergibt sich das in Abb. 6 dargestellte Architekturmodell für das angestrebte Helfer-Koordinationssystem.

Die Erreichung eines vom Katastrophenmanagement über das Einsatzführungssystem definierten Zieles wird demnach als Prozess verstanden, der als Workflow von einem entsprechenden Management-System anhand eines Workflowmodells gesteuert und überwacht wird [HSB13]. Workflows werden im Allgemeinen als organisationsweite, arbeitsteilige Prozesse definiert, in die eine große Anzahl von Akteuren (hier BOS, Helfer) einbezogen sind und in denen (teil-)automatisiert Dokumente, Informationen oder Aufgaben von einem Teilnehmer an einen anderen zur Ausführung entsprechend einer Menge von prozeduralen Regeln übergeben werden [BR04]. Ein solches **WfMS zur Systemsteuerung (Anforderung 2)** ermöglicht damit grundsätzlich die Automatisierung der Allokationsprozesse, d.h. aller Schritte, die zur Zielerreichung erforderlich sind.

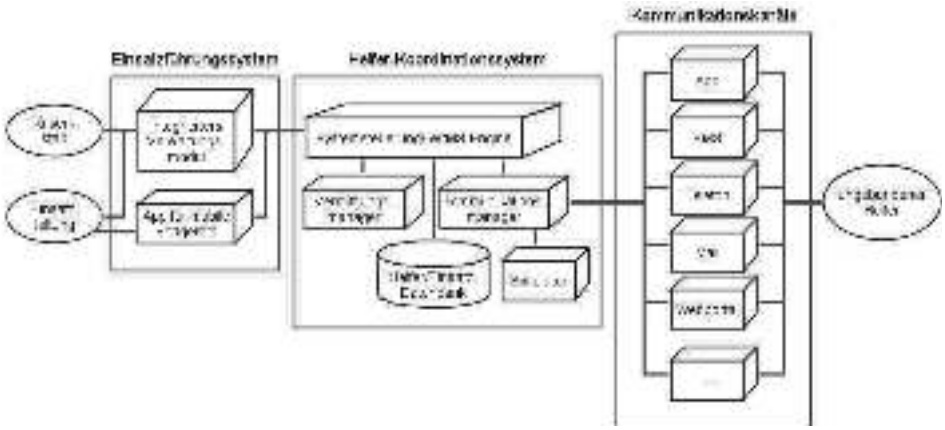


Abb. 6: Architekturmodell des Helfer-Koordinationssystems

Für die Zuordnung einzelner Helfer zu konkreten Tätigkeiten, Einsatzorten oder Einsatzzeiten, ist eine weitere **Komponente für das Matching (Anforderung 3)** vorgesehen, die zwischen den Hilfsangeboten und den Helferbedarfen eine möglichst optimale Allokation vornimmt [HBS14]. Hierfür muss das Helfer-Koordinationssystem auf eine entsprechende Datenbasis zugreifen können, die bspw. bei der Registrierung der Helfer oder der Erstellung von Hilfsangeboten resp. der Definition von Einsatzszenarien erhoben und in einer **Datenbank (Anforderung 4)** persistiert werden. Die Systemsteuerung resp. das WfMS wird daher um die Komponenten Vermittlungsmanager und eine Helfer-/Einsatz-Datenbank erweitert.

Für die Umsetzung der gewünschten Zuordnung einzelner Helfer zu bestimmten Tätigkeiten wird zusätzlich zur Systemsteuerung ein **Kommunikationsmanager (Anforderung 5)** als eigenständiges Modul vorgeschlagen, der die Schnittstelle zwischen der Systemsteuerung und den Helfern realisiert und den Austausch von Informationen automatisiert. Die Herausforderung des Kommunikationsmanagers liegt in der korrekten Auswertung der zu kommunizierenden Informationen (in and out) über das jeweilige Medium [MAP05]. Auch hierfür bietet sich als technische Realisierung der Einsatz eines WfMS an, welches die große Anzahl an individuellen und bilateralen Kommunikationsworkflows automatisiert steuert und dabei die Kommunikationsinhalte an unterschiedliche Nachrichtenformate für diverse Kommunikationskanäle (z. B. App, SMS, Internet) zu den Helfern entsprechend anpasst. Hierbei gilt insbesondere zu beachten, dass bspw. über SMS nur sehr wenige Informationen ausgetauscht werden können (Zeichenbeschränkung) und dadurch die Anzahl der Nachrichten schnell steigt, wohingegen mobile Anwendungen oder Web-Portale einen geeigneteren Kommunikationskanal für den einfachen Informationsaustausch darstellen. Da im Katastrophenfall jedoch nicht immer die Verfügbarkeit eines Smartphones bei Helfern vorausgesetzt werden kann oder auch einzelne Kommunikationskanäle ausfallen/überlastet sein können, ist für eine praktische Nutzung die Anbindung unterschiedlichster Kommunikationskanäle erforderlich.

Die Anbindung des Helfer-Koordinationssystems an das Einsatzführungssystem bedeutet primär die Definition von Koordinationszielen sowie ein Monitoring des Zielerreichungsgrads. Da in Krisenstäben bereits Einsatzführungssysteme zur IT-Unterstützung der Koordination von Einsatzkräften eingesetzt werden, bietet sich eine Schnittstelle zu diesen Systemen an. Eine Integration in bestehende Einsatzführungssysteme wird empfohlen, da dies zum einen die vereinfachte Einarbeitung der BOS-Mitarbeiter und zum anderen einen integrierten Lageüberblick durch Informationen zu Einsatzorten, die nun um Helfer ergänzt werden, ermöglicht. Allerdings wären auch hier individuelle Web- oder Mobilanwendungen zur Erstellung von Helferbedarfen der Einsatzorte denkbar.

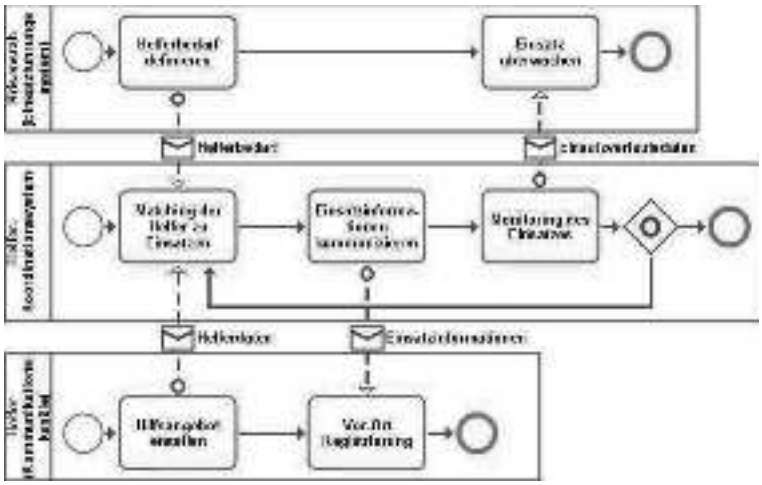


Abb. 7: Grundlegende Prozesse eines Helfer-Koordinationssystems

Das Zusammenspiel der einzelnen Komponenten eines Helfer-Koordinationssystems und dessen Anbindung an die Einsatzführung und die Helfer ist in Abb. 7 zusammenfassend dargestellt. Die Systemsteuerung (WfMS) ermöglicht demnach über das Einsatzführungssystem das Anstoßen des Matching über den Vermittlungsmanager. Dieser ermittelt auf Basis des Status quo der Helferdaten dann durch Anwendung von domänenspezifisch angepassten Methoden und Algorithmen (bspw. basierend auf Operation Research) die optimale Zuordnung von Helfern zur Erreichung der Koordinationsziele. Ist die Zuordnung erfolgt, werden im nächsten Schritt die ausgewählten Helfer durch den Kommunikationsmanager kontaktiert. Die Kommunikation der jeweiligen Hilfstätigkeiten in Verbindung mit einer möglichen Rückmeldung der Helfer (bspw. durch Zusage oder vor-Ort Registrierung) führt schließlich zu der gewünschten Kooperation oder erfordert eine erneute resp. weiterführende Zuordnung.

Da der Einsatz eines Helfer-Koordinationssystems im Katastrophenfall eine zentrale, nicht-technische Voraussetzung für die verbesserte Koordination darstellt, muss dieses bereits vor dem konkreten Schadensereignis durch die BOS beübt und erprobt werden können. Daher wird eine weitere **Komponente zur Simulation (Anforderung 6)** der

ungebundenen Helfer als zentraler Bestandteil eines Helfer-Koordinationssystems vorgeschlagen [PME10]. Hierfür existiert eine Vielzahl an möglicher Simulationssoftware (z. B. AnyLogic), die durch zusätzliche Programmierung an den Koordinationsmanager angebunden werden kann. Simuliert werden dabei die Kommunikationsprozesse zwischen den Helfern und dem Kommunikationsmanager und nicht das „reale“ Verhalten der Helfer und deren Tätigkeiten. Die Erforschung von Möglichkeiten zur Modellierung des Helferverhaltens mit Hilfe von Multi-Agenten-Systemen ist bereits Thema aktueller Forschung [LBS17]. Durch den Simulator wird es möglich, auch Übungen von unterschiedlichsten Schadenslagen ohne tausende von realen Helfern durchzuführen. Aus der Simulation der Helfer und ihrer Kommunikation lassen sich dann Rückschlüsse für die Realität ziehen, die in späteren Schadenslagen essentielle Vorteile in der Schadensbewältigung ermöglichen können. Zudem ist die Möglichkeit, die Helfer und deren Kommunikationsverhalten zu simulieren, für die Validierung von Helfer-Koordinationssystemen und deren Optimierung allgemein ein wichtiges Werkzeug.

5 Fazit

Im vorliegenden Beitrag wurde gezeigt, dass durch die Verbreitung neuer Informationstechnologien bisher unbekannte Herausforderungen bei der Koordination ungebundener und insbesondere physischer Helfer aufgeworfen werden. Zwar beschäftigen sich bereits erste Forschungsansätze mit den Möglichkeiten und Auswirkungen neuer Technologien, allerdings werden meist die digitalen Helfer betrachtet und die Koordination ungebundener, physischer Helfer nur am Rande adressiert. Die nähere Betrachtung der Wirkungszusammenhänge hat gezeigt, dass für eine effektive und effiziente Koordination der physischen Helfer die Gestaltung und Automatisierung einer individuellen Kommunikation von großer Bedeutung ist. Vor diesem Hintergrund wurde eine einfache Systemarchitektur auf Basis aktueller Technologien konzipiert, deren Funktionen die grundlegenden Anforderungen an ein neuartiges Helfer-Koordinationssystem beschreiben. Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen entsprechend der Phase 2 des Design-Science Research [Pe06] vor allem Forschungsziele auf, die einerseits in der Entwicklung des neuartigen Helfer-Koordinationssystems als Ganzes bestehen aber insbesondere auch in der Erforschung und Umsetzung der skizzierten Systemkomponenten. In der nun folgenden Design-&-Development-Phase des übergeordneten Forschungsprojektes wird ein Systemprototyp nach einem iterativen Verfahren entwickelt und im Zuge dessen weiteren Forschungsfragen z.B. in Bezug auf die Vermittlung der Helfer oder die Kommunikationsabläufe nachgegangen. Unabhängig davon hat diese Arbeit bestehende Herausforderungen in der Helferkoordination identifiziert und erste Lösungsansätze skizziert.

Acknowledgement

Diese Veröffentlichung ist im Rahmen des Forschungsprojekts KUBAS (Förderkennzeichen: 13N13939) entstanden, welches durch das BMBF-Forschungsprogramm „Zivile

Sicherheit – Erhöhung Der Resilienz Im Krisen- Und Katastrophenfall“ gefördert wurde.

Literaturverzeichnis

[Bb17] BBK Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (Hrsg.) (2017). Rahmenempfehlungen für den Einsatz von Social Media im Bevölkerungsschutz. Bonn.

[BR04] Becker, Jörg; Schütte, Reinhard (2004): Handelsinformationssysteme. Domänenorientierte Einführung in die Wirtschaftsinformatik. 2. Auflage. Frankfurt a. M.: Moderne Industrie.

[BPW14] Büscher, M., Perng, S. Y., & Weise, S. (2014). Periphere Kooperation am Beispiel der Anschläge in Norwegen 201. i-com, *13*(1), 12-19.

[Eb13] Ebert, O. (2013) Hoher Pegelstand fürs Engagement?! Erfahrungen der Freiwilligenagentur Halle (Saale) bei der Fluthilfe, BBE-Newsletter 18/2013, URL: http://www.b-b-e.de/fileadmin/inhalte/aktuelles/2013/09/NL18_Gastbeitrag_Ebert.pdf; Abgerufen am 11.05.2017

[FBV06] Fernandez, L., Barbera, J. & Van Dorp,J. (2006). Strategies for Managing Volunteers during Incident Response: A Systems Approach. Homeland Security Affairs (2), S. 1-15.

[HBS14] Hofmann, M., Betke, H., Sackmann, S. (2014). Hands2Help – Ein App-basiertes Konzept zur Koordination Freiwilliger Helfer In: i-com – Zeitschrift für interaktive und kooperative Medien, Band 13, Heft 1, S. 29-36.

[HSB13] Hofmann, M., Sackmann, S., Betke, H. (2013). A Novel Architecture for Disaster Response Workflow Management Systems In: Proceedings of the 10th International ISCRAM, Baden-Baden, Germany.

[HT15] Hughes, A. L. & Tapia, A. (2015). Social Media in Crisis: When Professional Responders Meet Digital Volunteers. Journal of Homeland Security and Emergency Management 12 (3), S. 679-706.

[Ka14] Kalisch, D., Hahn, C., Engelbach, W. & Meyer, A. (2014). Integration von Freiwilligen in das Krisenmanagement. Stuttgart: Fraunhofer Verlag

[Ki14] Kircher, F. (2014). Ungebundene Helfer im Katastrophenschutz. BrandSchutz (8), S. 593-597.

[LR10] Li, J. &. Rao, H.R. (2010). Twitter as a Rapid Response News Service: An Exploration in the Context of the 2008 China Earthquake. The Electronic Journal of Systems in Developing Countries (42), S. 1-22.

[LBS17] Lindner, S., Betke, H., Sackmann, S. (2017). Attributes for Simulating Spontaneous On-site Volunteers In: Proceedings of the 14th International ISCRAM, Albi, France.

[Lu17] Ludwig, T., Kotthaus, C., Reuter, C., Dongen, S. Van, Pipek, V., van Dongen, S., & Pipek, V. (2017). Situated crowdsourcing during disasters: Managing the tasks of spontaneous volunteers through public displays. International Journal on Human-Computer Studies (IJHCS), 102(C), 103–121.

[MAP05] Murphy, C., Courtney, A., Doug, P. (2005). A Prototype Multi-Modal Decision Support Architecture In: Proceedings of the 2th International ISCRAM, Brussels, Belgium.

[PME10] Paulus, C., Möllmann, S., Engelmann, H. (2010). Approach for an integrated interoperable system architecture for disaster management systems In Proceedings of the 7th International ISCRAM, Seattle, USA.

[Pe06] Peffers, K., Tuunanen, T., Gengler, C. E., Rossi, M., Hui, W., Virtanen, V., Bragge, J. (2006). The design science research process: a model for producing and presenting information systems research. Proceedings of the first international DESRIST 2006,. 83-106.

[RHP13] Reuter, C., Heger, O. & Pipek, V. (2013). Combining Real and Virtual Volunteers through Social Media. In Proceedings of the 10th International Iscram Conference, S. 780-790.

[RMP11] Reuter, C., Marx, A. & Pipek, V. (2011). Social Software as an Infrastructure for Crisis Management - a Case Study About Current Practice and Potential Usage. In Proceedings of the 8th International ISCRAM Conference 2011.

[SP10] Starbird, K. & Palen, L. (2010). Pass It On?: Retweeting in Mass Emergency. In Proceedings of the 7th International ISCRAM Conference 2010.

[SP11] Starbird, K. & Palen, L. (2011). "Voluntweeters": Self-Organizing by Digital Volunteers in Times of Crisis. In CHI '11 Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems. S. 1071-1080.

[SP13] Starbird, K. & Palen, L. (2013). Working & Sustaining the Virtual 'Disaster Desk'. In Proceedings of the 2013 Conference on Computer Supported Cooperative Work, S. 491–502.

[SV16] Schulze, Katja; Voss, Martin (2016): Manual zur Zusammenarbeit mit Mithelfenden bei der Katastrophenbewältigung. Berlin: Katastrophenforschungsstelle

[Te95] Teufel, S., Sauter, C., Mühlherr, T. & Bauknecht, K. (1995) Computerunterstützung für die Gruppenarbeit. Bonn: Addison Wesley.

[Te96] Teufel, S. (1996). Computergestützte Gruppenarbeit – Eine Einführung. In Österle, H.; Vogler, P. (Hrsg.): Praxis des Workflowmanagements. Braunschweig: Vieweg. S. 35-64.

[Ti13] Tim, Y., Yang, L., Pan, S.L., Kaewkitipong, L. & Ractham, P. (2013). The Emergence of Social Media as Boundary Objects in Crisis Response: A Collective Action Perspective. In Proceedings of the 34th International Conference on Information Systems 2013.

[TMJ13] Tapia, A. H., Moore, K.A. & Johnson, N.J. (2013). Beyond the Trustworthy Tweet: A Deeper Understanding of Microblogged Data Use by Disaster Response and Humanitarian Relief Organizations. In Proceedings of the 10th International ISCRAM Conference 2013, S. 770-779.

[WMH15] Whittaker, J., McLennan, B. & Handmer, J. (2015). A review of informal volunteerism in emergencies and disasters: definition, opportunities and challenges. International Journal of Disaster Risk Reduction 13, S. 358–368

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 1297

Mobile Unterstützung für Hilfsorganisationen in Krisensituationen – Anforderungsanalyse und prototypische Umsetzung einer Smartwatch App

Milad Mirbabaie[1], Stefan Stieglitz[1] und Patrick Kubat[1]

Abstract: In einer Katastrophensituation, in der viele Verletzte versorgt werden müssen, ist der Austausch von Informationen und eine stetige Kommunikation innerhalb der Hilfsorganisationen besonders wichtig und zeitkritisch. Smartwatches können in solch einer Krisensituation effizient eingesetzt werden, um Informationen schneller und gezielter zu verbreiten. Diese Studie beschäftigt sich daher mit der Verwendung von Smartwatches für Rettungskräfte bei einem Massenanfall von Verletzten. Für diesen Zweck wurden 1) Experteninterviews mit aktiven Mitarbeitern von rettungshelfenden Organisationen durchgeführt, um die Anforderungen abzuleiten und 2) die prototypische App MANVred entwickelt: eine mobile Applikation mit dem Ziel, die Kommunikation zwischen Einsatzkraft und Einsatzleitung zu verbessern. Dazu wurden Nachrichten- und Aufgabendelegierungsfunktionen, eine Kartenansicht, eine Wettervorhersage und eine Sichtungsfunktion mit Patientenortung implementiert. Für die leitenden Mitarbeiter wurde eine Webapplikation zur räumlichen Darstellung von Patienten und Sanitätern entwickelt. Im Anschluss wurde die Applikation in weiteren Befragungen sowohl technisch als auch funktional von Experten evaluiert; hierbei wurden weitere Verbesserungsbedarfe ermittelt aber auch die prinzipielle Tauglichkeit von MANVred nachgewiesen.

Keywords: Krisenmanagement, Smartwatch App, Hilfsorganisationen, IT-Rettung

1 Einleitung

Massenpaniken, Terroranschläge, Naturkatastrophen und Großbrände sind nur einige Beispiele für Krisensituationen, in denen Hilfsorganisationen auf eine akute Gefahrenlage reagieren müssen. Häufig sind solche Krisensituationen begleitet von einer großen Anzahl von Verletzten sowie Schwerverletzten. In einem solchen Fall spricht man von einem *Massenanfall von Verletzten* (MANV), in der englischsprachigen Literatur auch *mass casualty incidents* (kurz: MCIs) genannt [FA07, JC99]. MANV bezeichnet dabei eine Großschadenslage mit einer so großen Menge an Verletzten, dass es mehr Geschädigte gibt als den örtlichen Hilfsorganisationen und Behörden abrufbare Einsatzkräfte zur Verfügung stehen [Sc12]. Diese Situationen stellen die örtlichen Rettungsorganisationen vor große Herausforderungen, da zum einen für die Vielzahl der Verletzten regional meist nicht genug Einsatzkräfte verfügbar sind und daher überregionale Ressourcen angefordert und koordiniert werden müssen [FA07]. Zum anderen besteht die Herausforderung darin, die Opfer der Katastrophe zu triagieren, also

[1]Universität Duisburg-Essen, Abteilung Informatik und Angewandte Kognitionswissenschaft, Forsthausweg 2, 47057 Duisburg, milad.mirbabaie@uni-due.de

doi:10.18420/in2017_131

die Dringlichkeit der Behandlung nach Überlebenswahrscheinlichkeit zu dokumentieren und zu sortieren, um entsprechend fundierte Entscheidungen bezüglich der Priorisierung der Verletzten treffen zu können [Je08].

Da der Faktor Zeit in diesen Krisensituationen besonders wichtig ist [Co12], bietet sich die Verwendung von Informationstechnologien an [PMM15, LSK09]. Für die Rettungskräfte vor Ort können mobile Endgeräte eine geeignete Unterstützung darstellen; jedoch bestehen hier Anforderungen an Gewicht, Größe und Bedienbarkeit, die Notebooks oder Tablets ungeeignet erscheinen lassen. Wearables hingehen können direkt am Körper oder an der Kleidung getragen werden und erfordern so – zumindest für das Empfangen und Lesen von Informationen – keine freie Hand und müssen auch nicht gesondert verstaut werden. Sie stehen so jederzeit für die Bedienung zur Verfügung [PMM15]. Smartwatches sind ein Beispiel für die Kategorie der Wearables. Größter Vorteil dieses Gerätetyps ist die Tatsache, dass Smartwatches – genauso wie herkömmliche Uhren – aufgrund ihrer Größe in keiner Weise die Arbeit der Einsatzkräfte behindern kann. Als „kleines Smartphone“, welches wie eine Armbanduhr am Handgelenk getragen wird, unterstützen sie ebenfalls die Nutzung von Apps. Da es – im Gegensatz zu ähnlichen, selbstgebauten Wearables [MD14] und Smartglasses [Gi15] – bisher kaum wissenschaftliche Arbeiten zur Verwendung handelsüblicher Smartwatches bei einem Massenanfall von Verletzten durch die Einsatzkräfte gibt, wird in diesem Artikel der folgenden Frage nachgegangen:

Wie kann eine Smartwatch-App für Einsatzkräfte bei einem Massenanfall von Verletzten technisch realisiert werden?

Um Antworten auf die Forschungsfrage zu finden, wurde ein qualitativer Forschungsansatz ausgewählt. Es wurden Interviews mit Experten von Hilfsorganisationen durchgeführt und im Anschluss die neu gewonnenen Erkenntnisse in einem Prototyp mit dem Namen *MANVred* implementiert.

2 Aktueller Stand der Wissenschaft

Da es sich wie in der Einleitung erläutert bei einer solchen Krisensituation – insbesondere bei einem Massenanfall von Verletzten – um eine Lage handelt, bei der das Leben von Menschen auf dem Spiel steht, wurde viel zur mobilen Kommunikation der Einsatzkräfte vor Ort und der technischen Unterstützung in diesem Bereich geforscht. Jedoch ist die Verwendung von innovativen Technologien in diesem Bereich nach wie vor ein offenes Forschungsgebiet [Mi14]: in der Praxis gelten weiterhin Papier- und Plastikkarten als Werkzeug der Wahl, kommuniziert wird persönlich, per Funk oder über Melder [Me11]. Melder sind Personen, welche mit einfachen Zetteln Informationen überbringen. Jüngere Forschungsarbeiten beschäftigen sich immer mehr mit der Verwendung von Wearables bei Massenanfällen von Verletzten. Wearables sind meist miniaturisierte Computergeräte, welche vom Benutzer oder an der Kleidung des Benutzers getragen werden können. Der große Vorteil ist, dass ein solches Gerät nicht

mehr mit den Händen vom Benutzer getragen werden muss [Gi15, PMM15] und das Gerät bei Nichtbenutzung nicht verstaut werden kann. In mehreren Arbeiten wurden Smartwatches zur Unterstützung der Rettungskräfte verwendet. Die Projekte *WatchIt* [MD14] und *Gesture Watch* [Ki07] umfassten neben der Software auch die Entwicklung einer eigenen Smartwatch. In beiden Arbeiten wurde ohne weitere Evaluation die Verwendung von Touchscreens für nicht sinnvoll erachtet und auf eine gestenbasierte Bedienung gesetzt. Bei *WatchIt* funktioniert dies über in die Jacke eingenähte RFID-Tags, welche mit der Hand, welche das Gerät trägt, berührt werden müssen, bei der *Gesture Watch* über Gesten, welche durch Näherungssensoren erkannt werden. Gleichzeitig haben sich in jüngster Vergangenheit neue Smartwatch-Generationen mit moderneren und gebräuchlicheren Technologien wie kapazitive Touchscreen-Displays oder integriertem GPS durchgesetzt, weswegen wir argumentieren, dass die Steuerung via Touchscreen bei existierenden Mobilgeräten berücksichtigt werden sollte. In einer aktuellen Studie haben [CM17] eine Umfrage mit 647 Personen in Japan durchgeführt, um die Nützlichkeit und Akzeptanz von Wearables und der Applikationen im Kontext von Krisen herauszufinden. Sie kamen zu dem Entschluss, dass die wahrgenommene Nützlichkeit von aktuellen Applikationen, die auf Wearables ausgeführt werden, ein starker Prädiktor für die wahrgenommene Nützlichkeit der Geräte im Krisenkontext ist, d.h. dass die Menschen die Wearables als geeignet und nützlich im Krisenkontext empfunden haben. Nach bestem Wissen und Gewissen der Autoren gibt es jedoch derzeit keine wissenschaftlichen Erkenntnisse über die Verwendung von handelsüblichen Smartwatches für die Unterstützung von Rettungskräften in Krisensituationen wie einen Massenanfall von Verletzten. Daher adressiert der vorliegende Artikel genau diese Lücke.

3 Massenanfälle von Verletzten

Ein *Massenanfall von Verletzten (MANV)* ist ein generelles Konzept, das bei einer Vielzahl von Situationen und unabhängig von Krisenursachen zum Greifen kommt. Dadurch erhöht sich die Relevanz der Arbeit für den praktischen Einsatz. Größere MANV gehören naturgemäß nicht zum Alltag eines Sanitäters und stellen diese daher organisatorisch, fachlich wie auch emotional vor besondere Herausforderungen [FR11]. Daher ist es besonders wichtig, dass die Rettungskräfte den Massenanfall von Verletzten regelmäßig in Großübungen erproben. Zielsetzung bei einem MANV ist es, das Bestmögliche für die größte Zahl an Patienten zur richtigen Zeit am richtigen Ort zu tun [Pa05]. Nach diesem Grundsatz ist eine taktische Planung des gesamten Einsatzes von höherer Priorität als die von den Einsatzkräften gewohnte individualmedizinische Versorgung der Patienten [Ka06, Sc12]. Die Planung wird unter anderem beeinflusst von der örtlichen Streuung der Verletzten, den jeweiligen Schweregrad von Verletzungen als auch der Anzahl der Verletzten. Zu Beginn eines MANVs erhält die Implementierung einer organisatorischen Struktur die höchste Priorität [FA07]. Der ersteintreffende Notarzt übernimmt zunächst die Einsatzleitung, bis dieser vom leitenden Notarzt abgelöst werden kann [Sc12]. Die aufgebaute Organisation ist von hierarchischer

Struktur; Anweisungen werden nur von oben nach unten durchgegeben [BPK09]. Die Einsatzleitung sitzt für gewöhnlich in einem separaten Einsatzwagen am Rande des Unfallortes oder in der Leitstelle und ist daher von den Informationen abhängig, die die Einsatzkräfte vor Ort per Funk mitteilen [RR13]. Umgekehrt bekommen die Einsatzkräfte ihre Aufträge nur aus der Leitstelle, so dass sich hier eine beidseitige Abhängigkeit ergibt. Zur besseren Planung wird von der Einsatzleitung meist eine analoge oder digitale Karte verwendet [La15]. Ein anderes Problem bei Massenanfällen von Verletzten ist die Verteilung der Ressourcen. Schon eine geringe Anzahl Verletzter kann zur kurzfristigen Überforderung der Krankenhäuser führen, da Ärzte und anderes medizinisches Personal oft erst aus der Bereitschaft geholt werden müssen und/oder nicht genügend räumliche Kapazitäten wie OP-Säle zur Verfügung stehen [Ac12]. Daher hat jede Stadt einen Kontingentplan, in welchem erfasst wird, welches Krankenhaus für welche Verletzungsmuster wie viele Patienten aufnehmen kann. Sind diese Ressourcen erschöpft, werden die Krankenhäuser in den umliegenden Städten und Kreisen angefahren [Pr08]. Für eine frühzeitige Planung ist daher die schnelle Ermittlung der Verletztenanzahl wie der Verletzungsmuster relevant [Ac12].

Für eine mögliche Anwendung wurde im Rahmen dieser Arbeit ein Szenario entwickelt, welcher ein Zugunglück mit einer unbekannten, niedrigen dreistelligen Zahl an Verletzten, darstellt. Dies entspricht einem MANV-III. Die Patienten sind hierbei weit verstreut, die Situation unübersichtlich. Die Verletzungsmuster sind zunächst diffus, abgebildet auf die Triage-Farben sind sämtliche Kategorien vertreten. Nach Ankunft der ersten Einsatzkräfte wird der MANV-Fall ausgerufen und weitere Ressourcen angefordert. Da es noch dauert, bis die Notärzte vor Ort sind, bekommen die Rettungshelfer den Auftrag, die Vorsichtung vorzunehmen.

4 Forschungsvorgehen

Um die Forschungsfrage beantworten zu können, wurden leitfadenorientierte Experteninterviews mit Mitarbeitern von Hilfsorganisationen geführt. Als Grundlage für die Auswahl der Experten wurde eine Internetrecherche auf den Webseiten der entsprechenden Hilfsorganisationen durchgeführt und die Experten mit einer kurzen Vorstellung des Projektes über den Umfang in Kenntnis gesetzt. Als Vorbereitung für die Expertenbefragungen wurden Leitfaden entwickelt. Die in den Leitfaden definierten Fragen zielten darauf ab, die Experten und ihre Organisation richtig einschätzen zu können, mit Hilfe der Experten tiefer in die Materie einzutauchen, gleichzeitig Einblicke in die Praxiserfahrungen und die Probleme bei einem Massenanfall von Verletzten zu erhalten als auch Ideen für Funktionen der geplanten Smartwatch-Applikation zu sammeln. Durchgeführt wurden die Experteninterviews mit einem Gruppenführer einer Hilfsorganisation [In1] sowie einem Ansprechpartner einer Organisation für Katastrophenschutz [In2]. Beide sind mit den vorgestellten MANV-Konzepten seit Jahren vertraut. Das Interview [In1] wurde zuerst durchgeführt und als Pre-Test verwendet, um weitere Informationen über die praktische Seite des Konzeptes MANV in

Erfahrung zu bringen. Da die offenen Fragen ausführlich beantwortet werden konnten, wurde beim zweiten Gespräch [In2] auf das Stellen dieser Fragen verzichtet (nach Gläser und Laudel [GL10]). Da alle Interviewpartner dem zustimmten, wurden die Experteninterviews digital in einer Audiodatei aufgezeichnet. Für die Analyse der aufgezeichneten Experteninterviews wurde die qualitative Inhaltsanalyse nach Mayring [Ma08] als Methode ausgewählt. Dabei handelt es sich um ein theorie- und regelgeleitetes inhaltsanalytisches Verfahren, mit welchem der Fokus auf das Erlangen von tieferem Verständnis komplexer Zusammenhänge gelegt wird [GL10].

In einem ersten Schritt wurden die Aufnahmen der Experteninterviews paraphrasiert und anschließend die bedeutungslosen Phrasen gestrichen. Im nächsten Vorgang wurde durch Zusammenfassen bedeutungsähnlicher Paraphrasen die Textbasis weiter reduziert. Aus diesem Text wurden induktiv passende Kategorien gebildet und anhand des Ausgangsmaterials überprüft. Im letzten Schritt der qualitativen Inhaltsanalyse wurden Kategorien gebildet, die sich sowohl auf einzelne Anforderungen und technisch lösbare Probleme bei einem Massenanfall von Verletzten als auch auf explizites Wissen über Organisation und Ablauf beziehen. Die übrig gebliebenen Paraphrasen wurden diesen Kategorien zugeordnet. Nach Abschluss der qualitativen Inhaltsanalysen wurden die gesammelten Kategorien aus technischer Sicht betrachtet und in kurze Anforderungssätze umgewandelt. Diese Sätze wurden dann zu tatsächlichen Anwendungsfällen ausgebaut und genauer erläutert und dienen damit als weitere Datenbasis bzw. Ziele für das zu entwickelnde Artefakt. Aus den abgeleiteten Spezifikationen wurden Mockup-Entwürfe erstellt. Die verwendeten Technologien zur Implementierung wurden ausgewählt und eine erste grobe Applikationsarchitektur entworfen. Im Laufe der Implementierung wurde diese wie auch die Schnittstellendefinitionen detailliert entwickelt und dokumentiert. Aufgrund der strukturellen Komplexität der erstellten Artefakte wurden zwei verschiedene Ebenen der Evaluation ausgewählt: die technische Evaluation sowie die fachliche Evaluation.

Das Ziel der technischen Evaluation war es, herauszustellen, ob die verwendete technologische Architektur in die bestehenden Systemlandschaften der Hilfsorganisationen und Behörden zu integrieren ist. Hierzu wurde eine Übersicht über die Architektur des Prototyps sowie ein offener Fragebogen erstellt, welcher von einem Verantwortlichen der IT einer Hilfsorganisation gelesen und ausgefüllt worden war. Die fachliche Evaluation diente dazu, herauszustellen, ob die analysierten Anforderungen tatsächlich sinnvoll wären und einen Mehrwehrt für die Einsatzkräfte während eines MANVs darstellen würden. Ebenso wurde betrachtet, ob der entwickelte Prototyp die Funktionen in Hinblick auf Gebrauchstauglichkeit gut abbilden konnte. Zur Durchführung dieser Evaluation wurde erneut ein Experteninterview mit einem Gesprächspartner der Hilfsorganisation [In1] durchgeführt. Hier wurden zunächst alle implementierten Funktionen von MANVredWeb und MANVredMobile präsentiert und dann zu jeder Applikation sowohl einmal allgemein als auch konkret zu jeder Funktion Fragen gestellt, welche auf die Sinnhaftigkeit und die Bedienung der Komponenten abzielten. Im Anschluss an dieses Interview wurde analog zu den Experteninterviews in der Analysephase eine Paraphrasierung mit anschließender qualitativer Inhaltsanalyse

nach Mayring durchgeführt [Ma08]. Die Ergebnisse der Inhaltsanalyse wurden – basierend auf den spezifizierten Use-Cases – in die Kategorien *Verbesserung*, *Neue Funktion* und *Fehlentwicklung* eingeordnet. Die im folgenden präsentierten Ergebnisse schließen die Resultate aus der Evaluation mit ein.

5 Ergebnisse der Experteninterviews

Aus den Analysen der Experteninterviews konnten Anforderungen an eine Smartwatch-App für Einsatzkräfte und leitenden Mitarbeitern von Hilfsorganisationen bei Massenanfällen von Verletzten abgeleitet werden. Diese Anforderungen werden im Folgenden als Use-Cases vorgestellt.

A01 – Empfangen von Nachrichten. „*Als Sanitäter bei einem Massenanfall von Verletzten (ein Zugunglück) möchte ich mich sofort an die Arbeit machen; allerdings ist mir zu diesem Zeitpunkt die genaue Sachlage noch nicht bekannt. Durch Vibration seiner Smartwatch bemerke ich jedoch, dass eine neue Nachricht der Führung eingetroffen ist. Auf dem Display kann ich ablesen, dass ich mich den Schienen im Unfallbereich nicht nähern darf und ich mich zunächst um die Patienten fernab der Schienen kümmern soll, bis dieser Bereich abgesichert ist. Nach weiteren drei Minuten erfahre ich durch eine erneute Vibration am Handgelenk, dass der Bereich der Schienen jetzt gesichert ist und keine weitere Gefahr für mich und meine Kollegen bedeutet.“*

A02 – Empfangen von Aufgaben. „*Als Sanitäter möchte ich über meine Smartwatch Aufgaben zugewiesen bekommen können. Auf den Empfang einer Aufgabe möchte ich durch Vibration hingewiesen werden. Anschließend möchte ich die Aufgabenbeschreibung auf der Smartwatch einsehen können. Nachdem ich die Aufgabe durchgeführt habe, möchte ich die jeweilige Aufgabe als abgeschlossen markieren können.*“

A03 – Kontinuierliches Senden der GPS-Koordinaten. *„Als Sanitäter möchte ich während des gesamten Verlaufes des MANVs ohne weiteres Zutun meinen Standort an die Einsatzzentrale gesendet wissen, so dass für eine bessere Arbeitsplanung sowie meine Sicherheit gesorgt werden kann.“*

A04 – Anzeige einer Umgebungskarte. *„Als Sanitäter möchte ich auf der Smartwatch eine Lagekarte vorfinden, um mich im Verlauf des Massenanfalls besser orientieren zu können.“*

A05 – Anzeige der Wettervorhersage. „*Als Sanitäter bei einem Zugunglück von Verletzten möchte ich die aktuellen Informationen eines Wetterdienstes für dein Einsatzort einsehen können. Dies dient einerseits zu meiner eigenen Sicherheit, andererseits aber ebenso zu besseren Planung über den weiteren Verlauf des MANV.***“**

A06 – Triage der Verletzten. *„Als Sanitäter bei einem Zugunglück möchte ich die Triagierung von Patienten schnell mittels der Smartwatch-App durchführen können.*

Hierfür möchte ich die Möglichkeit haben, den mSTART-Algorithmus durchzuarbeiten, damit daraus die Triage-Kategorie ausgegeben wird. Im Anschluss kann ich dem Patienten eine farblich kodierte Binde anlegen, die dem Ergebnis des Algorithmus entspricht. Den auf der Binde vermerkten Code möchte ich in in der App eingeben können, so dass der Patient eindeutig erfasst werden kann. Dabei sollen neben der Triagekategorie und der Patientennummer auch die aktuellen Geoinformationen gespeichert werden."

A07 – Darstellung Mitarbeiter auf Karte. *„Als Mitarbeiter in der Einsatzleitung möchte ich eine Kartenapplikation haben, auf der ich immer den möglichst genauen und aktuellen örtlichen Standpunkt der Kollegen vor Ort erkennen kann. So bin ich in der Lage, die Mitarbeiter sinnvoll zu planen."*

A08 – Darstellung Verletzte auf Karte. *„Als Mitarbeiter in der Einsatzleitung möchte ich auf einer Kartenapplikation erkennen können, wo welche Verletzte gesichtet wurden und welche Triagekategorie diese zugewiesen bekommen haben. Dies hilft mir bei der weiteren Einsatzplanung im Verlauf eines Zugunglücks."*

A09 – Verfassen von Nachrichten. *„Als Mitarbeiter in der Einsatzleitung möchte ich Nachrichten an die Kollegen vor Ort senden können, um beispielsweise Hinweise über die Absicherung des Einsatzortes oder drohende Gefahren schnell kommunizieren zu können."*

A10 – Zuteilung von Aufgaben. *„Als Mitarbeiter in der Einsatzleitung möchte ich den Sanitätern vor Ort jederzeit Aufgaben zuweisen können. Da ich über den jeweiligen Standort der Mitarbeiter informiert bin, fällt es mir leicht, die Aufgaben spezifisch zuzuweisen."*

A11 – Erweiterung der Patientenakte im MANV. *„Als Notarzt möchte ich einen Patienten beim Massenanfall von Verletzten im Behandlungszelt behandeln. Über ein Tablet möchte ich die Möglichkeit haben, die Fundstelle des Patienten einzusehen. Dies ermöglicht es mir, zusammen mit den vorliegenden, sichtbaren Verletzungen eine genauere Einschätzung der Diagnose zu geben. Außerdem möchte ich die Möglichkeit haben, die Sichtungskategorie der Patienten im weiteren Behandlungsverlauf den geänderten Umständen anpassen zu können."*

A12 – Abruf der Daten im Krankenhaus. *„Als Krankenpfleger in einem Krankenhaus möchte ich bei Aufnahme eines Patienten bei einem MANV die Möglichkeit haben, die während des Einsatzes von den Sanitätern erfassten Informationen, wie Fundort, Verlauf der Sichtungskategorien usw. einsehen und in die krankenhauseigene Patientenakte einfügen zu können. Dies ermöglicht es den behandelnden Ärzten, diese Informationen in die Diagnose und Therapie mit einfließen zu lassen, um fundierte Entscheidungen treffen zu können."*

6 MANVred – Eine prototypische Implementierung

Die beschriebenen Use-Cases und Anforderungen sind in einem Prototyp namens *MANVred* umgesetzt worden. Die Umsetzung der Smartwatch-Applikation erfolgt prototypisch auf einer Apple Watch. Bezugnehmend zu den allgemeinen Anforderungen aus dem vorherigen Kapitel, wird im Folgenden eine prototypische Implementierung vorgeschlagen und durchgeführt, die für umfangreichere Evaluation in künftigen Forschungsarbeiten notwendig ist.

6.1 Architektur

Aufgrund der verschiedenen Anforderungen an MANVred wurde entschieden, die Applikation nicht *standalone* und ausschließlich auf der Smartwatch zu betreiben, sondern die Applikation in vorerst drei Komponenten aufzuteilen. Die Kernkomponente *MANVredServer* ist zuständig für die zentrale Datenhaltung und das Anbieten von Schnittstellen. Die Apple Watch-Applikation *MANVredMobile* soll die Anforderungen der Rettungssanitäter abwickeln, während zu guter Letzt *MANVredWeb* die Komponente für die Leitstelle darstellen soll. Sowohl MANVredWeb als auch MANVredMobile kommunizieren dabei mit der zentralen Komponente MANVredServer, um Datensätze abzurufen, zu ändern oder neu anzulegen. Das Schnittstellenparadigma von MANVred folgt dem REST-Prinzip (Representational State Transfer). Als Datenübertragungsformat wurde JSON (JavaScript Object Notation) ausgewählt. Es bietet gegenüber XML (eXtended Markup Language) den Vorteil, bei gleicher Informationsmenge weniger Speicherplatz zu benötigen und bietet somit eine höhere Informationsdichte. Das Datenaustauschformat der Geoinformationen von MANVredWeb ist das JSON-kompatible GeoJSON-Format. Dieses bietet die Möglichkeit der Annotierung beliebiger Informationen an Geokoordinaten und -flächen. Als Datenbanktechnologie der Server-Komponente wurde sich für eine SQLite-Datenbank entschieden.

6.2 Implementierung von MANVred

Die Serverkomponente MANVredServer ist ein eigenständig lauffähiges Programm, welches in Java 8 geschrieben wurde. Durch die Entwicklung in Java ist die Plattformunabhängigkeit des Serverdienstes sichergestellt. Die Datenbankanbindung wurde über das OpenSource-Framework Hibernate[2] realisiert. Dieses nutzt die Java Persistence API, um vom konkret verwendeten SQL-Dialekt zu abstrahieren. Dies garantiert einen einfachen Wechsel der Datenbankumgebung in Zukunft. Daher wurden alle *Java Beans* – also Datenklassen – nach dem Java Persistence API-Standard mit *Java Annotations* versehen. Die automatische Umwandlung der Objekte in das JSON-Dateiformat und das umgekehrte Parsen der eingehenden JSON-Dateien geschieht durch dem JAXB-Standard (Java Architecture for XML Binding) mit der Implementierung

[2] http://www.hibernate.org

Moxy. Dieses Framework wird ebenfalls durch das Jersey-Projekt gepflegt und bietet den Vorteil, dass es sich leicht in Jersey integrieren lässt und eine Umstellung auf das XML-Format jederzeit ohne Umstrukturierung des Programmcodes möglich ist. MANVredMobile besteht aus zwei Komponenten: der Apple iPhone Applikation und der Apple Watch App. Die Apple Watch App ist ohne die iPhone Applikation nicht lauffähig. Beide Applikationen nutzen die von MANVredServer bereitgestellte General REST API, um Daten zu speichern, abzurufen und zu aktualisieren. Die Kommunikation zwischen Watch und iPhone funktioniert nativ durch von Apple bereitgestellte Technologien und bedarf keiner weiteren Programmierung. Die Programmierung für Apple iOS-Geräte kann durch zwei Programmiersprachen erfolgen: Objective-C und Apples neuentwickelte, hauseigene Sprache Swift[3]. Im Rahmen des Projekts ist die Entscheidung auf Swift gefallen. Um eine Zuweisung des aktuellen Benutzers zu einem Massenanfall von Verletzten zu ermöglichen, wurde eine rudimentäre Login-Funktionalität implementiert. Auf eine Passwortfunktionalität wurde verzichtet, da der Prototyp sich auf die Kernfunktionalitäten beschränken sollte.



Abbildung 1 – Login Auswahl Benutzer und MANV und Wetteranzeige

Nach dem Login sieht die Einsatzkraft eine kleine Kartendarstellung mit seiner aktuellen Umgebung. Die Stecknadel zeigt an, wo sich die Einsatzkraft auf der Karte derzeit befindet. Außerdem wird die Standortänderung automatisch an MANVredServer übertragen. Damit sind hier die Anforderungen A03 sowie A04 umgesetzt. Von dieser Ansicht aus kann ebenfalls die Triage-Funktion gestartet werden. Für die Wetter-Funktion wurde die Weather-REST-API von OpenWeatherMap[4] verwendet. So kann die Wettervorhersage anhand der jeweiligen Geo-Koordinaten des Benutzers nach den aktuellsten Wetterdaten erfolgen. Da die kostenlose Basis-Version nur eine Wettervorhersage für alle drei Stunden zulässt, besteht die Möglichkeit, dieses Intervall durch Nutzung einer kostenpflichtigen API-Version deutlich zu verkürzen. Als Information werden der Einsatzkraft der aktuelle Ortsname, die Temperatur, Windstärke, Windrichtung und das Wetter an sich (regnerisch, bewölkt, sonnig) angezeigt. Weiterhin implementiert wurde eine Übersicht der Nachrichten.

Die Triagefunktion ist das Herzstück von MANVredMobile. Sie wird aktiviert, indem in der Kartenansicht durch einen festen Druck auf den Touchscreen im Kontextmenü

[3] http://www.apple.com/de/swift/
[4] https://www.openweathermap.org

mSTaRT ausgewählt wird. Anschließend wird der Sanitäter durch den Triagealgorithmus geführt. Da sich sämtliche Fragen mit Ja oder Nein beantworten lassen, ist die Bedienung an dieser Stelle unproblematisch. Sollte der Sanitäter sich doch einmal vertippt haben, kann er über Druck auf Cancel jederzeit wieder zum letzten Schritt zurück. Nachdem der Algorithmus durchgelaufen ist, erfolgt die Kopplung des Patienten an den Datensatz. Dies geschieht durch Eingabe eines fünfstelligen Zahlencodes mit den möglichen Eingabeziffern 1 bis 4. Dieser Ansatz wurde gewählt, da das Display der Smartwatch verhältnismäßig klein ist und eine Darstellung der Zahlen 0 bis 9 eine deutlich höhere Eingabefehlerquote zur Folge hätte. Trotzdem lassen sich so $4^5 = 1024$ verschiedene Möglichkeiten der Patienten anlegen. Dies ist selbst für einen MANV-IV in aller Regel ausreichend. Die Textfarbe der Eingabe zeigt die erkannte Sichtungsfarbe. Nach Eingabe der Ziffern wird der Datensatz inklusive des aktuellen Standortes an MANVredServer geschickt.



Abbildung 2 –Sichtung mSTaRT & Eingabe Patienten-ID

MANVredWeb ist eine Kartenapplikation für den Browser. Es handelt sich um eine reine Anwendung mit HTML/CSS/JavaScript, welche auf einem beliebigen Webserver abgelegt werden kann. Voraussetzung ist hier jedoch, dass der Client, der die Applikation im Browser ausführt, eine Verbindung zu MANVredServer hat, da das JavaScript lokal im Browser ausgeführt wird.

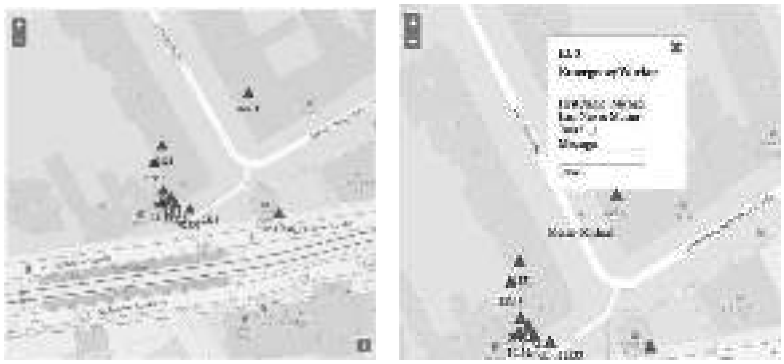


Abbildung 3 – MANVredWeb Ansicht; Beispiel Details Einsatzkraft

Für die Kartendarstellung wurde das OpenLayers-Framework verwendet, welches erweitert wurde, so dass anhand der Attribute der einzelnen Datensätze der GeoJSON-Schnittstelle von MANVredServer eine optische Unterscheidung zwischen Patienten und Einsatzkräften erfolgen kann. Die Patienten werden in ihrer aktuellen Triage-Farbe angezeigt. Als Kartenbasis wurde das Kartenmaterial von OpenStreetMap[5] verwendet; OpenLayers bietet hier jedoch die Möglichkeit auch Karten anderer Hersteller einzubinden. Außerdem wurde die Funktion, zusätzliche Daten zu einem Datenpunkt, hier Patient oder Sanitäter, mit auf der Karte anzeigen zu lassen. Im selben Fenster besteht auch die Funktion, den jeweiligen Einsatzkräften Nachrichten zu schreiben oder Aufgaben zuzuweisen.

7 Fazit und Ausblick

Dieses Manuskript beschreibt die prototypische Entwicklung einer Smartwatch-App für Einsatzkräfte bei einem MANV. Dafür wurde zunächst eine Anforderungsanalyse mit Hilfe von Experteninterviews durchgeführt, welche anschließend mittels der qualitativen Inhaltsanalyse nach Mayring untersucht wurde. Aus den daraus synthetisierten Anforderungen wurde die prototypische Umgebung MANVred geschaffen, welche aus einer Serverkomponente, einer Smartwatch-App für die Einsatzkräfte sowie einer Kartenanwendung für die Einsatzleitungen besteht. In erneuten Experteninterviews wurde mit einer ersten Evaluation des Prototyps begonnen; erste Ergebnisse deuten an, dass die implementierten Funktionen aus der fachlich-funktionalen Sicht einen Mehrwehrt für Einsatzkräfte bieten kann. Bereits jetzt zeichnen sich einige neue Funktionsideen sowie Verbesserungen der bisherigen Implementierung ab.

Es konnten einige Funktionen mit praktischem Nutzen für die Einsatzkräfte implementiert werden. Das Empfangen von Nachrichten und Aufgaben entlastet den Funk und hilft den Sanitätern im Einsatz, auch in einer emotional schwierigen Situation wie dem Massenanfall von Verletzten den Überblick zu bewahren. Die Anzeige der Wettervorhersage dient der besseren und schnelleren Entscheidungsfindung bei den Aufgaben der Rettungskräfte. Die Kartendarstellung des Unfallortes bietet eine bessere Orientierung bei einem Massenanfall von Verletzten. Die Sichtung von Verletzten funktioniert jetzt einfacher, der mSTaRT-Algorithmus muss zwangsläufig angewendet werden. Außerdem werden die GPS-Koordinaten sowohl von den Verletzten als auch den Rettungskräften gespeichert. Diese Daten lassen sich dann auf einer Einsatzkarte einfach und übersichtlich darstellen.

Da es sich hierbei um eine explorative Arbeit handelt, wurde ein qualitativer Forschungsansatz bei der Anforderungsanalyse und bei der Evaluierung gewählt. Ebenso wurden die Erkenntnisse der Evaluierung noch nicht mit in den Prototypen aufgenommen und implementiert. Weitere Studien könnten tiefergehendere oder quantitative Ansätze wählen, um weitere Anforderungen zu eruieren und die Evaluation

[5] http://www.openstreetmap.org/

auf eine breitere Basis zu stellen. Auch, wie im Evaluationsinterview vom Experten bereits vorgeschlagen, bietet sich eine Evaluierung bei einer praktischen Übung unter realistischen Bedingungen mit einer Großzahl von Sanitätern an. Dies würde die Aussagekraft der vorgestellten Lösung deutlich erhöhen. Außerdem könnte so MANVredMobile mit der regulären Sichtung hinsichtlich Geschwindigkeit und Fehlerquote verglichen werden. Auf den Sichtungsprozess aufsetzen könnten wissenschaftliche Arbeiten, welche sich mit der Priorisierung der Patienten für die Notärzte der Zweitsichtung beschäftigen.

Literaturverzeichnis

[Ac12] Ackermann, O. et al.: Krankenhausnotaufnahme als kritische schnittstelle beim MANV: Erfahrungen mit der Loveparade 2010. In Notfall Und Rettungsmedizin, 15(4), S. 313–318, 2012

[BPK09] Birkhäuser, B.; Pottebaum, J.; Koch, R.: Unterstützung von Einsatzentscheidungen der Feuerwehr auf Basis IT-unterstützter Kräftekoordination. Proceedings Der Informatik, GI-Edition - Lecture Notes in Informatics (LNI), S. 1393–1396, 2009

[CM17] Cheng, W. John; Mitomo, Hitoshi: The underlying factors of the perceived usefulness of using smart wearable devices for disaster applications. Telematics and Informatics Volume 34, Issue 2, May 2017, Pages 528–539

[Co12] Coskun, T. et al.: User-centered development of UI elements for selecting items on a digital map designed for heavy rugged tablet PCs in mass casualty incidents. In Proceedings of the 2nd ACM SIGHIT symposium on International health informatics - IHI ’12, (S. 151), 2012

[FA07] Flemming, A.; Adams, H. A.: Rettungsdienstliche Versorgung beim Massenanfall von Verletzten (MANV). Intensivmedizin Und Notfallmedizin, 44(7), S. 452–459, 2007

[FR11] Flake, F.; Runggaldier, K.: 60 Fälle Rettungsdienst (2nd ed.). München: Elsevier GmbH, 2011

[Gi15] Gillis, J. et al.: Panacea’s Glass: Mobile Cloud Framework for Communication in Mass Casualty Disaster Triage (S. 128–134), 2015

[GL10] Gläser, J.; Laudel, G.: Experteninterviews und qualitative Inhaltsanalyse (4th ed.). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, 2010

[JC99] Johnson, G. A.; Calkins, A: Prehospital triage and communication performance in small mass casualty incidents: a gauge for disaster preparedness. Am J Emerg Med, 17(2), S. 148–150, 1999

[Je08] Jenkins, J. L. et al.: Mass-Casualty Triage: Time for an Evidence- Based Approach. Prehospital and Disaster Medicine, 23(1), S. 3–8, 2008

[Ka06] Kanz, K. G. et al.: MSTaRT-Algorithmus für Sichtung, Behandlung und Transport bei einem Massenanfall von Verletzten. Notfall Und Rettungsmedizin, 9(3), S. 264–270, 2006

[Ki07] Kim, J. et al.: The Gesture Watch: A wireless contact-free Gesture based wrist interface. Proceedings - International Symposium on Wearable Computers, ISWC, (Figure 1), S. 15–22, 2007

[La15] Ladehof, K.: Triage und MASCAL/MANV. In K. Ladehof (Ed.), Taktische Medizin (S. 221–248). Berlin: Springer-Verlag, 2015

[LSK09] Lattemann, C; Stieglitz, S.; Kupke, S: Deutsche Unternehmen auf dem Weg zum Web 2.0? - HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik, Juni 2009, Volume 46, Issue 3, pp 18–26.

[Ma08] Mayring, P.: Qualitative Inhaltsanalyse - Grundlagen und Techniken (10th ed.). Weinheim, Basel: Beltz Verlag, 2008

[Me11] Mentler, T. et al.: Eine benutzer- und aufgabenzentrierte Analyse zu mobilen Anwendungssystemen bei Massenanfällen von Verletzten, 2011

[MD14] Mora, S.; Divitini, M.: WATCHiT: A Modular and Wearable Tool for Data Collection in Crisis Management and Training, 8850, 274–289, 2014

[Mi14] Miaoudakis, A. I. et al.: Communications in emergency and crisis situations (Vol. 8530 LNCS, S. 555–565). Springer International Publishing, 2014

[Pa05] Pabautz, K. et al.: Großschadensereignisse und Katastrophen. In C. Redelsteiner (Ed.), Das Handbuch für Notfall- und Rettungssanitäter (1st ed., S. 512ff). Wien: Wilhelm Braumüller, Universitäts-Verlagsbuchhandlung Ges.m.b.H., 2005

[PMM15] Paulus, A.; Meisen, P.; Meisen, T.: AUDIME: Augmented disaster medicine. In IEEE 17th International Conference on e-Health Networking, Applications and Services (Healthcom) (S. 342–345). Boston, MA, USA, 2015. Abgerufen von http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=7454522

[Pr08] Probst, C. et al.: Der Notfallplan des Krankenhauses bei Massenanfall von Verletzten (MANV). Intensivmedizin Und Notfallmedizin, 45(1), S. 40–50, 2008

[RR13] Reuter, C.; Ritzkatis, M.: Unterstützung mobiler Geo-Kollaboration zur Lagebeurteilung von Feuerwehr und Polizei. In 11th International Conference on Wirtschaftsinformatik (Vol. 1891, S. 1877–1891), 2013

[Sc12] Schmandt, M. W.: Vorbereitung von Klinikärzten in Deutschland auf einen Massenanfall von Verletzten - Eine nationale Umfrage. Medizinische Fakultät. Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, Bonn, 2012

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 1311

BPMN for Disaster Response Processes – A methodical extension

Hans Betke und Michael Seifert[1]

Abstract: The application of business process management (BPM) methods to disaster response management (DRM) is a frequently discussed issue. Although it is seen as very challenging the potential benefits of BPM-methods to increase effectivity and efficiency in planning and monitoring the several activities of disaster management and their related resources are promising. The use of a standard modelling language like Business Process Model and Notation (BPMN) is recommended because of its prevalence and maturity of available tools. However, the standard set of elements in BPMN is not comprehensible enough to take account of some special requirements of DRM like importance of place-related information or multiple different resources. The research in this paper presents a methodological extension of BPMN based on an ontology of critical DRM-interrelations used to enhance the BPMN meta-model.

Keywords: BPMN-Extension, disaster response process, process modelling, spatial information

1 Process Modelling in Disaster Response

Disasters caused by natural phenomenon or human fault are a threat to assets as well as human life. In order to minimize potential damages and facilitate an effective and efficient disaster response management (DRM) contingency plans are designed in advance. In case of disasters these plans are extended and concretized for creating suitable disaster response processes to counteract the current situation [Ch08]. However, these processes are mostly on an abstraction level which necessitates much interpretation and additional information that is manually taken into account by responsible disaster managers. Since DRM is usually very complex due to the high amount of different involved resources and organizations as well as many parallel activities, the management of resulting disaster response processes (DRP) can be very challenging. Keeping all necessary information in mind is nearly impossible for disaster managers [Ch08, FC10].

To overcome this problem the application of business process management (BPM) methods to the DRM domain for planning and structuring processes is discussed [FW09, RW07, SHB13]. An extensive literature reviews shows that most of these process-aware approaches are designed for a special purpose and provide a very technical view on their functions [HBS15]. Although these approaches address important DRM issues they have mostly not established in practice. A common problem is that practitioners are not familiar with the provided view on processes and the related models and tools. A standardized

[1] Martin-Luther-University Halle-Wittenberg, Chair for Business Informatics esp. Information Management, Universitätsring 3, 06108 Halle, hans.betke@wiwi.uni-halle.de, michael.seifert3@student.uni-halle.de

doi:10.18420/in2017_132

comprehensible modeling language is missing in the domain.

On the other hand, the BPM domain offers a wide variety of process modelling languages. The similarities of business processes and DRP (e.g. event-driven, comprise activities, resources and actors required to execute the activities, etc.) give point to adapt an established BPM-Method to this new domain [Ho14]. BPMN is one of the business process modeling languages with the highest prevalence and internationally used. It comes with a manageable set of standardized elements and allows a comprehensible visualization of processes. On the other hand BPMN also facilitates process automation, which is a necessary requirement for approaches for IT-supported processing of processes e.g. in workflows. In this regard BPMN is a compromise between usability and support of technical features, which other modeling methods like the semi-structured Event Driven Process Chain are lacking.

With these explanations in mind the following research question is discussed in this paper: Can BPMN be extended to allow the consideration of domain specific requirements of disaster response processes?

In this approach we present a methodological extension of the well-structured BPMN standard following Stroppi et al. [SVC11b]. This extension can easily be implemented in conventional process management tools for a quick and comprehensible application in disaster management practice. The paper is part of the comprehensive research project "DRP-ADAPT" aiming at the adaption and improvement of BPM-methods to support the management and processing of the highly DRP with a so called disaster response workflow management system (DRWfMS). A special focus of the project is the flexible, automated composition of underspecified DRP using the spatial information of used resources. DRP-ADAPT is structured following the Design Science Research Process by Peffers et al. [Pe06]. While former publications addressed the phases of (1) problem identification (e.g. [HBS15, SHB13]) and (2) objectives of a solution (e.g. [Ho14]) as well as (3) design and development of first parts of the solution (e.g. [Be15]) the paper at hand aims at the design and development of the process modelling component of the solution artifact. The next chapter provides the basis for the extension by deriving and discussing six requirements of DRP modelling from the literature. A comparison to the BPMN-standard in chapter three shows the necessity of an extension, which is done in chapter four following the method of Stroppi et al. [SCV11b]. The results are discussed with a view on related work. The paper closes with a short conclusion and an outlook on further research.

2 Requirements for DRP-Modelling

The set of requirements presented in this section was chosen in regard to the goals of the higher research effort of the DRP-ADAPT project. Therefore the requirements focus on characteristics for spatial coordination of resources in disaster situations [SHB13]. However, as the discussion shows they are important for DRM in general. Since literature

provides many sources for further requirements, we suggest the enhancement of the approach in future publications to build a comprehensive DRP modeling language.

One major problem in regard to DRP is the effective and efficient allocation of required resources. Research publications addressing this issue discuss different problems for different kinds of resources. At this, most approaches differ between human resources like response teams, fire fighters or volunteer helpers and non-human resources like fire engines, medical supplies or equipment [CZ07, RT10]. These different kinds of resources need to be taken into consideration in the modelling of DRP. Whereas the human resource is specified by its role in DRP, the non-human resource is primarily specified by its features and use cases. Resources can depend on each other. The collaboration of different engaged organizations needs to be addressed by the process model in order to ensure effective and efficient resource allocation [DMD07]. **R1: A DRP model must allow the distinction between human and non-human resources as well as depiction of interdependencies between those.**

Both resource types have different features that may influence the applicability of a process. Non-human resources describe a wide set of different materials, gadgets and tools. The usage of some resources is limited by their consumption through finite capacity. In general a non-human resource is either consumable or non-consumable [CL10, SHB13]. A non-consumable resource, for example a fire truck, can be allocated by multiple activities consecutively, without necessity to restock its capacity, whereas a consumable resource, like water to extinguish a fire, is limited for multi-consecutive use. The resulting main differences for these two characteristics are the need to plan reloading activities and considering the limitation of consumable resources. The modelling of this feature helps to identify required support activities. **R2: A DRP model must allow distinction between consumable and non-consumable resources.**

Another feature of non-human resources whose impact on the applicability of DRP is discussed in the literature is the multi usability [SHB13]. Multi usability means the possibility of a resource to be used by different activities at the same time (e.g. a fire engine is used to extinguish fire as well as evacuate people with help of the onboard ladder). The two characteristics of this feature are multi usability and single usability. The decision about simultaneous execution of activities by the same resource is ceded to the process modeler who should have knowledge about capabilities of relevant resources. **R3: A DRP model can comprise multi usable and single usable resources.**

	Task-Relevant Knowledge			
Knowledge of Disaster Response		**Task-Specific**	**General Domain**	**Little**
	Extensive	Super-expert	Functional semi-expert	Functional inexpert
	Some	Expert	Semi-expert	Functional inexpert
	Little	Specialist	Semi-specialist	Inexpert

Tab. 1: Types of actors in disaster response [Ju07]

Human resources in DRP are usually specified by the role they take on in their allocated activities. The roles that a human resource can fill depend essentially on the knowledge of the resource. According to Jul there are two dimensions of knowledge which determine the role of human actors in a DRP [Ju07]. The dimensions and their resulting user types are illustrated in Table 1.The task-relevant knowledge estimates the the proficiency of a resource in a certain activity. For example a person is an expert in using a water pump in general. The second dimension of knowledge is based on the experience with disaster response scenarios. The water pump expert may be comfortable in using the machine but was never involved in a flood and has little knowledge of disaster response. In total he is classified as a specialist. The two dimensions of knowledge are separated because of their different effects in sorting human resources to activities. The DRM domain provides far more specific resource types, e.g. combined resources for special situations [Po07], which are not addressed in this paper due to the limited scope but could be addressed in future research. **R4: A DRP model must consider different user types for human resources.**

Independent from characteristic features of resources, their current status in time-critical processes is crucial. To provide a good overview about the status of resources, six different states are discussed. According to Großkopf the important states are: *enabled* (1), *not allocated* (2), *allocated* (3), *started* (4), *suspended* (5), *completed* (6) [Gr07].A resource is *enabled* when it is part of the DR system. In case of a human resource this would be e.g. the registration as a volunteer by an aid organization. A *not allocated* resource differs from an *enabled* resource in this way, as it is currently useable. This could be a human resource whose user type is already determined and which is ready to help in a defined activity. For a non-human resource we additionally assume that *not allocated* means defined multi usability and consumption type. E.g. a defined consumable, non-human resource would be in state *not allocated* when its quantity is loaded. An *allocated* resource is dedicated to a certain activity. When the resource is already in-place for its activity and is executing its task, we assume it as *started*. A resource is *suspended*, when it is currently not able to fulfill its purpose. An empty consumable, non-human resource is an example for that. A resource with status *completed* has finished its task. Depending on the use case it would be possible to provide more detailed status information but these six general statuses are applicable to every possible resource in the process. **R5: A DRP Model must consider different states of resources.**

The final requirement of this work refers to spatial information, which is discussed as particularly important in DRP [SHB13]. Spatial characteristics of activities and resources can highly affect the feasibility of a process and need to be considered in planning and execution of DRP. Two minimal features are discussed to describe the spatial status: mobility and location. The most common way to describe a location is the usage of latitude and longitude. This information is applicable for resources as well as activities and can be translated to a possibly existing address. In terms of mobility there are two different characteristics: stationary and mobile. A stationary resource is limited for the use in activities in its area, whereas a mobile resource is able to move or being transported to an activity where it is needed. A stationary activity must be executed at its destined location, e.g. the building of a dam. A mobile activity can be conducted at various locations, e.g.

the filling of sandbags. **R6: A DRP model must comprise spatial information in regard to activities and resources.**

All DRP-relevant aspects discussed in previous explanations have been merged and illustrated in the ontology presented in figure 1. We provide this overview as basis for further proceeding in this paper. The resource is an entity which has a relation to itself representing the dependencies between resources (**R1**). The appended features are resource status and the spatial information mobility type, longitude and latitude (**R5**, **R6**). The class "Human" inherits from the entity resource as it is the representation of the human resource (**R1**). The human specific feature is the user type (**R4**). "Non-human" inherits from "Resource", as well (**R1**). The non-human resource specific features are multi usability and consumption type (**R2**, **R3**). Finally the human resource entity is related to the activity for representing the executing subjects (*does*) whereas the link between activity and the non- human resource represents all further resources that are used for execution (*uses*). The spatial information attributes are attached to the activity, to complete the domain scenario (**R6**).

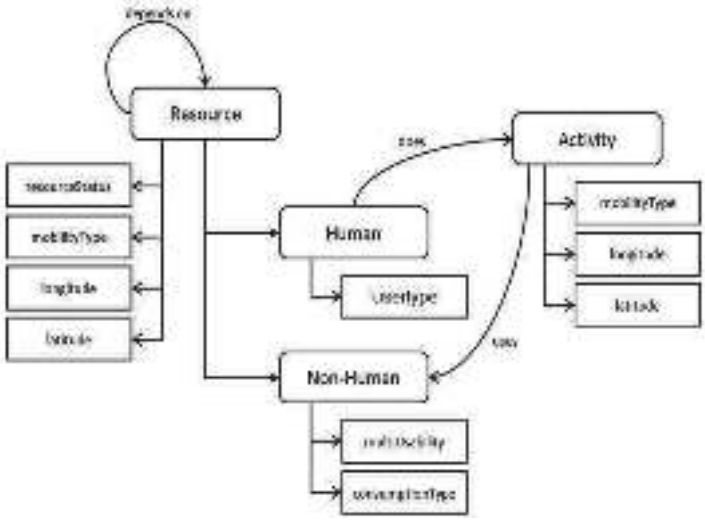


Fig. 1: Disaster-Response problem domain ontology

The overview reveals that all of the six requirements are related to resources of a DRP since, all requirements, with the exception of one (**R6**), are exclusively aiming at a better definition of resource entities. Therefore further explanations in this work also focus on issues in regard to resources.

The derived set of requirements is not claimed to be complete but outlines a clear area of interest for modelling DRP: resources and spatial information. Furthermore existing works like the generic DRP model of Betke support the findings in this work and also highlight the importance of these DRM specific challenges [BE15]. However, a starting point for

derivation of further requirements can be found in [HBS15] which gives an exhaustive overview about process aware approaches in DRM. The paper at hand focuses on the requirements defined in this chapter but is open for future enhancement.

3 Current Situation in BPMN Standard

In this chapter the BPMN standard is investigated regarding the ability to address the required information for DRP. Therefore the two main entities from the ontology in section two, resource and activity, are examined regarding standard attributes which can be used to describe required features.

The activity inherits from `flownode`, as shown in figure 2. This is an abstract class which is the foundation of all entities in BPMN which can be lined in process sequences. `Flownode` inherits from `baseElement` which is the abstract superclass for all viewable elements in BPMN. So all inherited properties from activity are abstract and cannot support the problem specific requirements for spatial information [OM13].

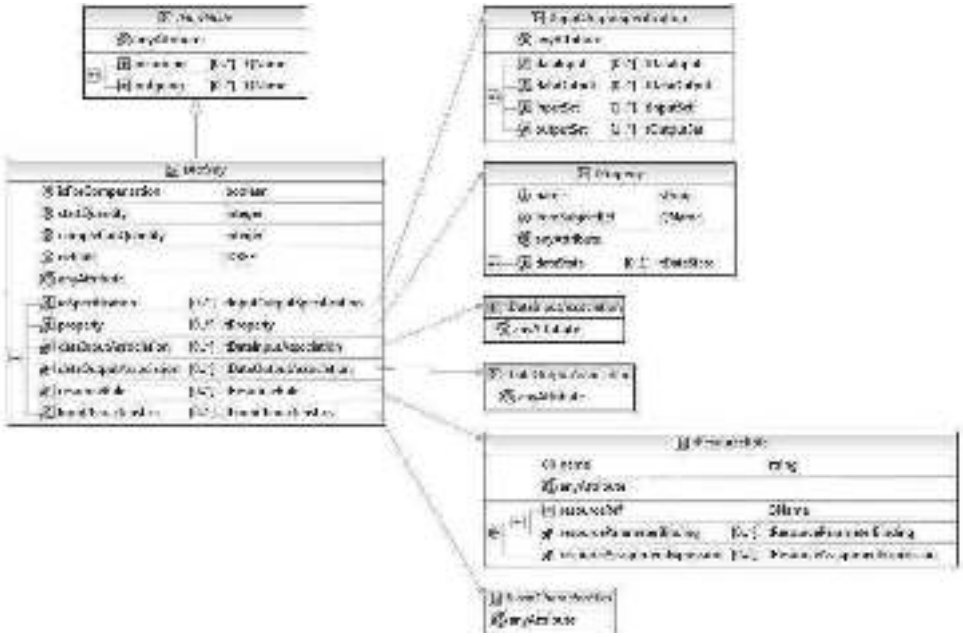


Fig. 2: Meta-model of activity in BPMN [OM13]

The specific activity properties describe the trigger of the activity regarding a compensation event *isForCompensation* or regarding a counter to start *startQuantity* and to stop *completionQuantity*.Related entities describe the handling with data associations concerning input *dataInputAssociation* and output *dataOutputAssociation*. Furthermore

loops can be implemented with the attribute *loopCharacteristics* and resources can be allocated resourceRole.

In summary with the relation to `resourceRole` it is possible to represent dependencies between activities and resources. There is no opportunity to express activity specific attributes because the related property class is underspecified as well. This means, that it is not possible to include spatial information of an activity. With possible relations to activities the `resourceRole` needs to be evaluated next.

Resources are abstract and underspecified in BPMN. The only possibility to model them is the `resourceRole` entity shown in figure 3 which is intended to represent a human resource [BE14].

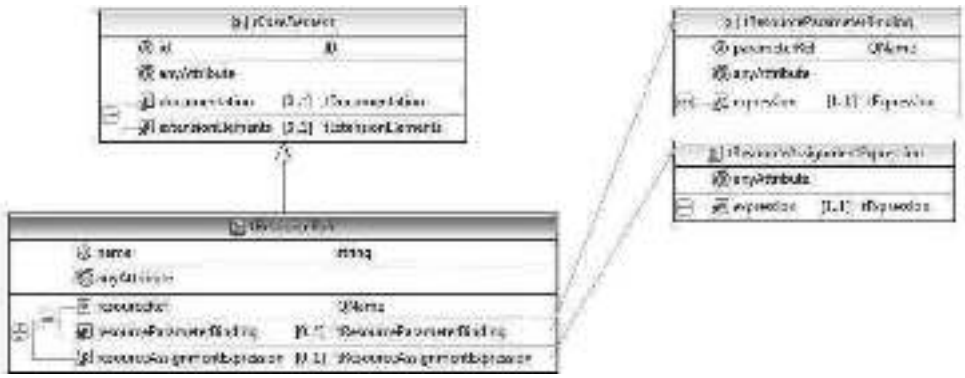


Fig. 3: Meta-model of resourceRole [OM13]

The `resourceRole` inherits directly from `baseElement`, so it is not possible to represent sequences like in activities and the resource does not have inherited properties. With the related entity `resourceParameterBinding` an abstract resource parameter can be expressed. Additionally it is possible to get a relation to an activity `resourceAssignmentExpression` shown in the previous evaluation ([OM13]).

The `resourceRole` does not have any specific properties to address attribute requirements from section two. But the meta-model of BPMN does already contain a possible relation to activity and there are references which indicate an opportunity to represent specific resource attributes. In conclusion the BPMN standard does not fulfil Building the BPMN Extension

Addressing the lack of DRP-specific elements in BPMN shown in the previous chapters, the method from Stroppi et al. [SCV11b] is applied to provide a suitable extension. The method uses a MDA-based approach, which means BPMN is extended through UML-formulated meta-models. The transformation in the meta-meta-model level makes the extension useable for automation and BPMN tools. This MDA-based model extension is state-of-the-art [FV04; La07; Se07].

The method to get a correct syntax for a BPMN extension consists of four steps.

1. Definition of the Conceptual Domain Model of the Extension (CDME) in UML.
2. Definition of the BPMN + Extension (BPMN+X) models in form of a BPMN Extension.
3. Transformation of the BPMN+X model into a XML Schema Extension Definition Model.
4. Transformation of the XML Schema Extension Definition Model into a XML Schema Extension Definition Document [SCV11b].

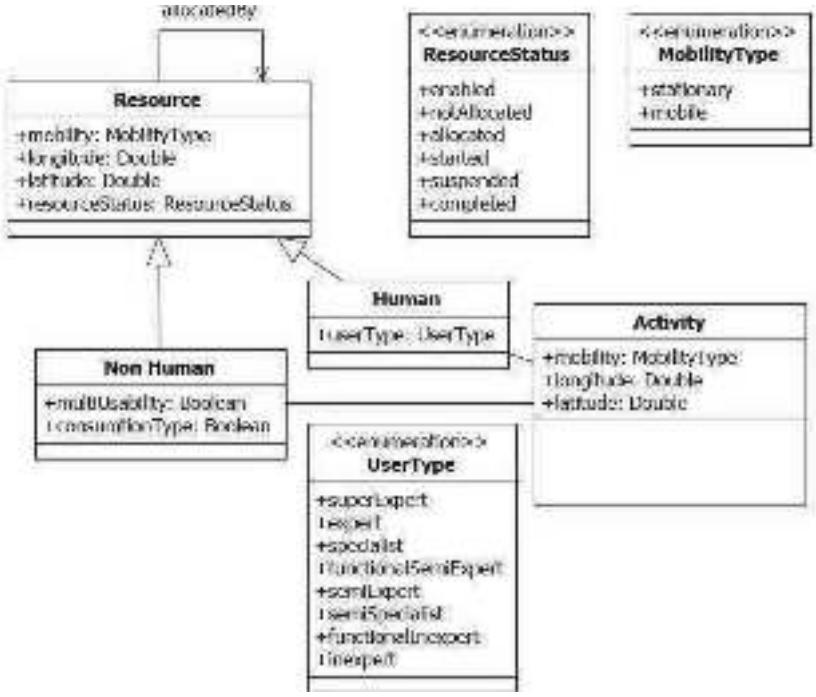


Fig. 4: DRP CDME

Note that this work only performs the first two steps of Stroppi et al. procedure. Step three which transforms the BPMN+X model into an XML schema extension definition model and step four which transforms this into an XML schema extension definition document (XSD) is for automation of process models. This work focuses on the model expression of BPMN for DRP and on the usability in process build time.

The UML class diagram shown in figure 4 is the transferred representation of the requirements ontology from section two. This diagram is the foundation for the usage of the transformation steps. It represents the first step in the defined approach named

Conceptual Domain Model of the Extension (CDME).

The activity is related to the specified subversion of the resource class: human and non-human (**R1**). The properties of activity are *mobility*, *longitude* and *latitude* (**R6**). The data type of the property *mobility* is an enumeration `mobilityType` which consists of *stationary* and *mobile*. The data type of *longitude* and *latitude* is double which ensure the required accuracy of the location.

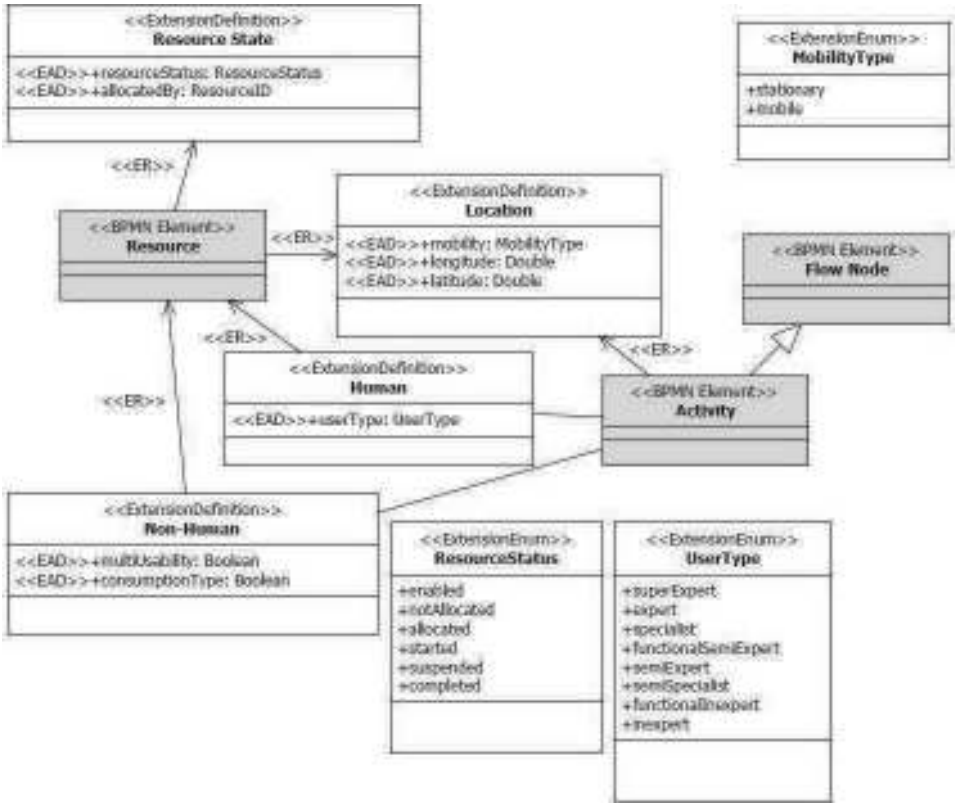


Fig. 5: BPMN+X model for DRP

The resource is inherited by human and non-human. Resources can depend on other resources which is represented by the relation to itself *allocatedBy* (**R1**). The spatial properties are part of the resource, so they can be used by human and non-human resources (**R6**). The *resourceStatus* has the data type enumeration `resourceStatus` with the characteristics *enabled*, *notAllocated*, *allocated*, *started*, *suspended* and *completed* (**R5**).

The class human is specified by the property *userType*. The data type of *userType* is an enumeration `userType` in form of *superExpert*, *expert*, *specialist*, *functionalSemiExpert*,

semiExpert, *semiSpecialist*, *functionalInexpert* or *inexpert* which addresses the requirements for the knowledge of users from previous sections (**R4**).

The non-human class has the specific properties *multiUsability* and *consumptionType* which are both of data type Boolean (**R2**, **R3**). This data type enables an intuitive use-case for the declaration of these attributes for non-human resources. The value true for *multiUsability* means that a resource is multi useable and false means that it is single useable. For *consumptionType* the value true means that the resource is consumable and false means that it is not consumable.

After application of the transformation of the proposed proceeding the final BPMN+X model looks as shown in figure 5. The coloured classes are part of the BPMN standard and provide the interfaces for the extended classes.

To use this BPMN+X model in the build-time of process modelling it is necessary to introduce suitable icons. The extension enumerations `extensionEnum` are meta information for the model, so it is not required to define icons for these classes. That is why we need icons for the extension definitions `resourceState`, `non-human`, `human` and `location`. Additionally recommended text annotations for the new icons are introduced. These annotations make it possible to visualize the specified property characteristics extended in the extension enumerations.



Fig. 6: Definition of extension icons

Figure 6 shows a suggestion for icons to visualize the new elements from left to right:

1. Resource State (ExtensionDefinition Resource State)
2. Location (ExtensionDefinition Location)
3. Non-Human (ExtensionDefinition Non-Human)
4. Human (ExtensionDefinition Human)

The resource state is displayed with an example text annotation *allocated*. This annotation can have one of the characteristics defined in the extension enumeration `resourceStatus` (**R5**). he advantage of this description is the straightforward identification of whether or not a resource related to an activity is able to fulfil its task.. The annotation of the *allocatedBy* attribute is considered as non-comfortable and, hence,

not implemented. The resource state is an extension definition which is related to the BPMN element resource. Because of the resource being an abstract BPMN element, the resource state can only be appended to a non-human or human icon (**R1**).

Location is defined by tripartite annotation. The first element of this annotation describes the *mobility* (*mobile* or *stationary*) and the second and third elements represent the *longitude* and *latitude* (**R6**). By defining the decimal length of longitude and latitude it is possible to specify the accuracy of the location. The location extension definition is referenced by two BPMN elements, so the only way to model that dimension is an appendix to an activity or a sub version of the resource which is human or non-human.

The non-human icon is displayed with two text annotations. The first characteristic defines the multi usability and the second the consumption type. Because of the data type being Boolean the following semantic is recommended (**R2**, **R3**).

- `If (multiUsability == true) then` „*multi use*" `else` „*single use*"
- `If (consumptionType == true) then` „*consumable*" `else` „*non consumable*".

The non-human extension definition is related to the BPMN element activity, so it can be appended to any activity element. The human icon shows an example text annotation *specialist*. This annotation represents the characteristics defined in the extension enumeration user type (**R4**). Similar to the non-human class, the human extension definition is related to the BPMN element activity and may therefore be appended to any activity element as well.

The four new icons for BPMN and their specific annotations allow the consideration of all six requirements derived in chapter two.

4 BPMN-Extensions in Related Work

In this chapter we give a short overview on the related work to emphasize the novelty of the results. A comprehensive literature review on process-oriented approaches in DRM already revealed the lack of a process modeling language suitable for DRP [HBS15]. Therefore, we take a further look at approaches for extending BPMN in other domains. Due to the prevalence of BPMN and the well documented standard there is a wide range of approaches proposing extensions for various fields of application. As highlighted in section two the modelling requirements used in this paper mostly refer to the resource element and its process-relevant features in regard to spatial aspects. In conclusion the following comparison of related work focuses on respective approaches. The determined works are shortly discussed regarding the extension language for use in BPMN, the examined problem domain and the usability of the results for DRP.

In 2007 Großkopf published a work, in which BPMN was extended for a better description

of resources. The paper is related to process automation and it uses a rule-based model to extend information [Gr07]. In comparison to the present approach the lack of integration into the BPMN extension meta-model is standing out. So it is difficult to use it in standard tools. The extended resource attributes are partially taken into the requirements of DRP (R5) but must be implemented differently.

In 2009 Awad et al. presented a BPMN extension for human resources. The extension is associated with the meta-model but there is no usage of BPMN extension classes. The extended information is modeled using OCL constraints [Aw09]. Because of the general focus with no specific problem domain there is no accordance regarding requirements from the DRP model approach.

2011 Stroppi et al. extended BPMN for a better expressiveness regarding resources. The extension was made on meta-model level, which was introduced in BPMN at this time and used the BPMN extension classes [SCV11a]. With special focus on business processes-relevant resources the approach has no specific relation to the requirements of this work.

In 2014 Braun et al. published a work based on the methodology from Stroppi et al. [BE14, SCV11b], to extend BPMN for modeling production procedures in industrial application. The extension has a user-friendly definition of icons for extended entities. In the evaluation part of this approach, the method of Stroppi et al. was proven to be correct which supports the choice of the method for the paper at hand. Although some requirements regarding the resources are similar to the DRP requirements the approach covers a different domain and cannot take all requirements like e.g. involvement of spatial information **(R6)** into consideration.

The investigation shows, that the method of Stroppi et al. [SCV11b] is commonly used to extend BPMN. Although some issues regarding resources in processes are addressed, the requirements of DRP where not yet taken into account.

5 Conclusion and Outlook

This work aimed at the extension of BPMN to cover DRP-specific requirements. Six requirements could be identified from the literature and were used to build an ontology capturing all affected process elements in a single model. Based on that the approach of Stroppi et al. was used to extend the meta-model BPMN and define a representation of new BPMN entities. A look at existing research papers showed that the paper at hand stays in line with other approaches using the method of Stroppi et al [SCV11b] to extend BPMN, but exclusively addresses the requirements of the DRM domain.

The results of this paper show, that BPMN can be extended to cover domain specific characteristics of DRP. The new set of elements can already be used by practitioners in any tool which supports BPMN-extensions. Although six important requirements in regard to DRP-modelling are addressed a far more comprehensive extension is possible

and requirements could be discussed more detailed. Future research could enhance the current approach by considering issues like resource interdependencies. to Furthermore, a promising advancement of the current paper would be the application of the last two transformations by Stroppi et al. As a result process aware information systems could be enabled to allow the automation of DRP models and developed to serve as disaster response workflow management systems. In regard to the DRP-ADAPT project this paper described the design and development of the modeling component. Following the Design Science Research Process [Pe06], further publications will address the phases of demonstration and evaluation. A tool will be created to conduct experiments with DRM practitioners on the one hand and experienced BPMN users on the other hand to give evidence of the practical benefits and applicability of this BPMN extension.

Bibliography

[Aw09] Awad, A., Grosskopf, A., Meyer, A.; Weske, M.: Enabling Resource Assignment Constraints in BPMN. Potsdam, Hasso Plattner Institute, 2009.

[Be15] Betke, H.: Structure and Elements of Disaster Response Processes – A General Meta-Model. In: Proceedings of the 12th International Conference on Information Systems for Crisis Response and Management. Kristiansand, Norway, 2015.

[BE14] Braun, R.; Esswein, W.: Entwicklung einer BPMN-Extension für ressourcen-intensive Prozesse im Maschinenbau. In: Proceedings der Multikonferenz Wirtschaftsinformatik 2014. Paderborn, 2014.

[CL10] Chandana, S.; Leung, H.: A system of systems approach to disaster management. Communications Magazine 48 (3), 138-145, 2010.

[Ch08] Chen, R., Sharman, R., Raghav Rao, H.; Upadhyaya, S. J.: Coordination in emergency response management. Communications of the ACM 51 (5), 66-73, 2008.

[CZ07] Chiu, Y.-C.; Zheng, H.: Real-time mobilization decisions for multi-priority emergency response resources and evacuation groups: Model formulation and solution. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation 43 (6), 710-736, 2007.

[DMD07] de Leoni, M., Mecella, M.; de Giacomo, G.: Highly dynamic adaption in process management systems through execution monitoring. In: 5th International Conference on Business Process Management in Brisbane. Springer, Berlin/Heidelberg, 182-197, 2007.

[FW09] Fahland, D.; Woith, H.: Towards process models for disaster response. In: Business Process Management Workshops - Lecture Notes in Business Information Processing 17. Springer, Berlin/Heidelberg, 254-265, 2009.

[FC10] Franke, J.; Charoy, F.: Design of a collabrative disaster response process management system. In: 9th International Conference in the Design of Cooperative Systems. Springer, London, 57-77, 2010.

[FV04] Fuentes-Fernández, L.;Vallecillo-Moreno, A.: An Introduction to UML Profiles. European Journal for the Informatics Professional 35 (2), 6-13, 2004.

[Gr07] Großkopf, A.: An Extended Resource Information Layer for BPMN. Hasso-Plattner-Institunte for IT Systems Engineering. University of Potsdam, Potsdam, 2007.

[Ho14] Hofmann, M.: Towards Automated Adaptation of Disaster Response Processes - An Approach to Insert Transport Activities. In: Proceedings der Multikonferenz Wirtschaftsinformatik 2014. Paderborn, 2014.

[HBS15] Hofmann, M., Betke, H.; Sackmann, S.: Process-Oriented Disaster Response Management: A Structured Literature Review. Business Process Management Journal 21 (5), 966-987, 2015.

[Ju07] Jul, S.: Who`s really on first? A domain-level user, task and context analysis for response technology. In: Proceedings of the 4th International ISCRAM Conference. Delft, 2007.

[La07] Lagarde, F., Espinoza, H., Terrier, F.; Gérard, S.: Improving UML Profile Design Practises by Leveraging Conceptual Domain Models. In: Proceedings of the twenty-second IEEE/ACM international conference on Automated software engineering. ACM, 445-448, 2007.

[Om13] OMG.: Business Process Model and Notation V2.0.2. OMG, 2013.

[Pe06] Peffers, K., Tuunanen, T., Gengler, C. E., Rossi, M., Hui, W., Virtanen, V., Bragge, J.: The design science research process: a model for producing and presenting information systems research. Proceedings of the first international DESRIST 2006. 83-106, 2006.

[Poe07] Pottebaum, J., Löffler, J., Schon, J., Schneider, D., Koch, R.: SHARE:Semantische Interoperabilität - Ein anwenderorientierter Ansatz, Tagungsband der Informatik 2007, 37. Jahrestagung der Gesellschaft für Informatik, pp. 169-174, 2007

[RT10] Rawls, C. G.; Turnquist, M. A.: Pre-positioning of emergency supplies for disaster response. Transportation Research Part B: Methodological 44 (4), 521-534, 2010.

[RW07] Rueppel, U., Wagenknecht, A.: Improving emergency management by formal dynamic process-modelling. In: 24th Conference on IT in Construction. Maribor, 559-564, 2007.

[SHB13] Sackmann, S., Hofmann, M.; Betke, H.: Towards a Model-Based Analysis of Place-Related Information in Disaster Response Workflows. In: Proceedings of the 10th International ISCRAM Conference. Baden-Baden, 2013.

[Se07] Selic, B.: A Systematic Approach to Domain-Specific Language Design Using UML. In: Proceedings of the 10th IEEE International Symposium on Object and Component-Oriented Real-Time Distributed Computing. Los Alamitos, 2-9, 2007.

[SCV11a] Stroppi, L. J., Chiotti, O.; Villarreal, P. D.: A BPMN 2.0 Extension to Define the Resource Perspective of Business Process Models. In: XIV Iberoamerican Conference on Software Engineering. Santa Fe, 25-38, 2011.

[SCV11b] Stroppi, L. J., Chiotti, O., & Villarreal, P. D.: Extending BPMN 2.0: Method and Tool Support. Business Process Model and Notation. Springer, Berlin/Heidelberg, 59-73, 2011.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 1325

Social Media Analytics: Eine Marktstudie im Krisenmanagement

Marc-André Kaufhold[1], Christian Reuter[2], Thomas Ludwig[3] und Simon Scholl[4]

Abstract: Mit zunehmender Zahl an Nutzern sozialer Medien steigt auch die Menge produzierter Datenmengen, welche häufig unter dem Schlagwort Big Social Data diskutiert werden. Um Informationen aus diesen großen Datenmengen generieren zu können, existiert aktuell bereits eine Vielzahl verschiedener Systeme, welche sich des Data Minings bedienen, um die Analyse zu erleichtern. Je nachdem für welche Fragestellung diese Datenmengen herangezogen werden sollen, kommen verschiedene Systeme in Frage, die jeweils ihre Stärken und Schwächen haben. Innerhalb dieses Beitrages geben wir eine Übersicht aktueller Systeme zur Analyse sozialer Medien im Generellen sowie im speziellen Kontext des Krisenmanagements. Auf Basis verschiedener Attribute wie der Möglichkeit zur Kommunikation, des Setzens eines Alarms oder der Tonalität sowie einer darauf basierenden Marktanalyse werden die Systeme in die drei Klassen Intelligence-, Management- und spezialisierten Analysesysteme klassifiziert und im Hinblick auf ihre Eignung für die Analyse sozialer Medien kategorisiert.

Keywords: Social Media, Marktstudie, Krisenmanagement

1 Einleitung und Grundlagen

Soziale Medien haben sich als fester Bestandteil des alltäglichen Lebens vieler Menschen etabliert und deren Nutzung hat in den letzten Jahren massiv zugenommen. Durch die steigende Verbreitung mobiler Endgeräte ist es mittlerweile möglich auch orts- und zeitunabhängig soziale Medien zu nutzen. Als Resultat entsteht eine stetig wachsende Datenmenge, welche hohe Anforderungen an die Datenanalyse stellt [NaTa15]. Ein bewährtes Konzept für die Verarbeitung großer Datenmengen stellt Data Mining dar, welches Methoden zur gezielten Analyse von Daten umfasst, die Rückschlüsse auf erkennbare Relationen bzw. Muster zulassen [HaKP11]. Die Einsatzgebiete sind vielseitig. So finden diese Methoden beispielsweise Anwendung in der Verbrechensbekämpfung zur Untersuchung typischer Opfercharakteristika, um Vorhersagen über mögliche neue Taten oder Opfer ableiten zu können [Mccu14].

Insbesondere im Kontext des Krisenmanagements kann die Analyse nutzergenerierter Daten aus sozialen Medien wertvolle Informationen zur Etablierung und Aufrechterhal-

[1] Universität Siegen, Institut für Wirtschaftsinformatik, marc.kaufhold@uni-siegen.de
[2] Universität Siegen, Institut für Wirtschaftsinformatik, christian.reuter@uni-siegen.de
[3] Universität Siegen, Institut für Wirtschaftsinformatik, thomas.ludwig@uni-siegen.de
[4] Universität Siegen, Institut für Wirtschaftsinformatik, simon1.scholl@student.uni-siegen.de

doi:10.18420/in2017_133

tung eines Situationsbewusstseins in Krisensituationen liefern [CPRY12], sowie die Krisenkoordination und –Kommunikation zwischen Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BOS) und Bürgern unterstützen [KaRe16]. Bisherige Methoden (1) aggregieren Daten zur Aussagenbildung über die Nutzung sozialer Medien in Krisensituationen [ChCh11] und untersuchen die Kontextualisierung von Daten, zum Beispiel durch den Einsatz von Kartenvisualisierungen [MJRP11]. Sie (2) erweitern Daten durch die Extraktion von Stimmungsbildern [NaVS12] sowie anderer Informationen oder (3) beschäftigen sich mit der Ereigniserkennung und -analyse in sozialen Medien [SaOM13]. Hierfür existieren zahlreiche Ansätze und Programme, die jedoch im Funktionsumfang und der Zielgruppe variieren.

Um die vertiefte Untersuchung von Anwendungen zur Analyse sozialer Medien im Krisenmanagement zu motivieren, präsentiert dieser Beitrag eine durchgeführte Marktstudie, die folgende Fragestellung adressiert: *Welche Ausprägungen charakterisieren und welchen Funktionsumfang bieten bestehende Systeme zur Analyse sozialer Medien?* Bei der Beantwortung der Fragestellung wird die Analyse sozialer Medien im Generellen, sowie vor allem im speziellen Kontext des Krisenmanagements betrachtet.

Dazu wird zunächst der Bereich „Social Media Analytics“ kurz vorgestellt (Kapitel 2) sowie die Motivation und Methodik der Marktstudie (Kapitel 3). Anschließend folgen eine Diskussion der Eigenschaften bestehender Systeme, eine Detailbetrachtung relevanter Systeme und die Präsentation der daraus resultierenden Marktübersicht (Kapitel 4). Der Beitrag schließt mit einer Zusammenfassung und einem Ausblick ab (Kapitel 5).

2 Social Media Analytics

Im Zuge der steigenden Verbreitung mobiler Endgeräte und der wachsenden Nutzung sozialer Medien stieg der weltweite Datenverkehr in den letzten Jahren immer weiter an und wird bis 2019 noch stärker als zuvor ansteigen [Cisc16]. Mittels öffentlicher Schnittstellen (APIs) können diese Daten in großen Mengen abgerufen und verarbeitet werden [ReSc14], weshalb sie unter dem Begriff „Big Social Data“ subsummiert werden [OOHK17]. Big Data beinhaltet die Eigenschaften *Volume* (großer Umfang), *Velocity* (hohe Geschwindigkeit der Datengenerierung) and *Variety* (Heterogene Daten mit hohem Maß an Komplexität durch die zugrundeliegenden sozialen Beziehungen). Daraus erwachsen neue Herausforderungen, welche eigene Konzepte zur Analyse benötigen.

Social Media Analytics setzt hier an und beschreibt den Prozess der Datenerfassung, Datenanalyse und Dateninterpretation sozialer Medien [Gart16, SDBN14]. Im Fokus steht die Wissensgenerierung über Akteure, Entitäten und Relationen sozialer Medien, mit dem Ziel die Lageeinschätzung sowie Ausführung gerichteter Aktivitäten zu unterstützen. Als Informationsquelle dienen neben sozialen Medien wie Facebook, Google+ und Twitter auch Blogs, Foren oder andere Plattformen, welche sich durch Art und Umfang nutzergenerierter Inhalte auszeichnen. Die Abgrenzung zur *Social Media Intelligence* ist fließend. Hier wird aus der Perspektive der Business Intelligence vor allem die

strategische Ausrichtung entlang des extrahierten Wissens beschrieben [ZCLL10]. Dabei spielt zudem das *Social Media Monitoring* eine Rolle, wobei die Quantifizierung ausgewählter Indikatoren im Fokus steht mit dem Ziel, aufkommende Trends und Stimmungen in sozialen Medien zu erfassen [BaTr14]. Ein weiterer Bereich stellt das *Social Media Management* dar, welches neben der reinen Analyse auch die organisationale Interaktion und Kommunikation in sozialen Medien adressiert [Pohl13]. Darüber hinaus werden für ungewöhnliche Erkenntnisinteressen und Tätigkeiten (z.B. Crowdsourcing) mitunter *spezielle Softwarelösungen* eingesetzt.

Im Rahmen von Schadenslagen ist es im Krisenmanagement notwendig einen umfassenden Situationsüberblick zu erhalten. Nur auf Basis valider Informationen können Entscheidungen getroffen und die Krisenkoordination organisiert werden. Tritt eine Schadens- oder Gefahrenlage ein, werden soziale Medien verstärkt zum Informationsaustausch genutzt [HuPa09]. Aktive Nutzer sozialer Medien produzieren Informationen, verteilen diese untereinander, und organisieren sich entlang ihres eigenen Kontextes [StPa10]. In Krisensituationen wird diese Kommunikation verstärkt betrieben und führt zu Intensitätsspitzen in der Nutzung sozialer Medien, wobei ein erhöhter Informationsbedarf der einzelnen Stakeholder auftritt [FrLY12].

3 Motivation und Methodik der Marktstudie

Mit dem Ziel die Charakteristika und Funktionalitäten bestehender Social Media Analytics Systeme besser zu verstehen, beschäftigt sich der folgende Teil der Arbeit mit einer Marktstudie. Diese soll ein breites Spektrum an Plattformen abdecken und Trends sowie funktionale Standards aufdecken. Im Rahmen dieser Arbeit liegt der Fokus auf der systemischen Betrachtung der Features. Informationen über Anbieter und Kostenstrukturen der jeweiligen Softwarelösungen sind im Zuge des zugrundeliegenden Erkenntnisinteresses weniger von Bedeutung und werden somit außen vorgelassen. Vielmehr soll der Fokus auf die Anwenderebene gerichtet werden und damit darauf, welche Funktionen einem Nutzer zur Analyse und Messung sozialer Medien bereitstehen. Als Endzielgruppe lassen sich neben Mitarbeitern von BOS auch digitale Freiwilligenhelfer sowie Analysten begreifen, welche soziale Medien zum Zweck der Schaffung eines Situationsbewusstseins in und außerhalb von Krisensituationen analysieren und auswerten wollen.

Neben der Analyse von Dokumenten und Websites der Anbieter wurden auch wissenschaftliche Publikationen über Systeme und Systemvergleiche analysiert, um relevante Features für den Krisenkontext zu extrahieren. So untersuchte [Pohl13] in einer Studie 16 Applikationen zur Analyse sozialer Medien, welche im Kontext von Forschungsstudien im Krisenmanagements entwickelt wurden. Die Anwendungen werden dabei nach Ein- oder Multiplattformunterstützung, spezifischen Funktionen (Crowdsourcing, organisationales Management, Tonalitätsanalyse, Ereigniserkennung, Umgang mit visuellen Inhalten), Filterungs- und Visualisierungsoptionen und weiteren Techniken tabellarisch verglichen. [TrGl15] untersuchte zudem 31 Applikationen zur Analyse sozialer Medien

hinsichtlich ihres Beitrags zur Verbesserung der Bereitschaft (Preparedness) für potenzielle Katastrophenlagen, wobei hier zusätzlich der Funktionsumfang, entstehende Kosten, sowie Ein- oder Mehrsprachlichkeit der Analysen und der Benutzerschnittstelle differenziert werden. In einem weiteren Vergleich von 14 Applikationen untersuchten [RLKP15] zudem syntaktische Anforderungen und die Integration in bestehende Netzwerke, mit denen der Benutzer vertraut ist. Hierbei haben wir explizit nicht alle Eigenschaften von Big Data betrachtet, sondern haben Volume (Anzeige großer Datenmengen) und Variety (Anzeige verschiedenster Medien) fokussiert, jedoch weniger Velocity (zielt eher auf die Performance ab).

3.1 Attribute zum Vergleich bestehende Analyseapplikationen

Auf Basis der Grundlagen und bestehenden Vergleichsstudien lassen sich die bestehenden Features in die Bereiche (1) Managementfunktionen, (2) Analysefunktionen und (3) Visualisierungsoptionen einteilen. Diese Features werden im Folgenden im Hinblick auf ihre Relevanz für das Krisenmanagement motiviert. Die Managementfunktionen umfassen dabei die Ansprechbarkeit unterschiedlicher sozialer Kanäle (Crossmedia), Funktionen zur Kommunikation und Überwachung, die Alarmierung bei spezifischen Ereignissen, und Optionen zur Kollaboration.

- **Crossmedia**: In Katastrophenlagen werden unterschiedliche soziale Medien für unterschiedliche Zwecke genutzt [DaSt17, FiRS15, KaRe16], etwa die Verbreitung von Lageinformationen und Situationsupdates (z.B. Twitter), Echtzeitübertragungen der Lage (z.B. Periscope), die Organisation der Krisenbewältigung (z.B. Facebook) und die emotionale Verarbeitung (z.B. Instagram).
- **Kommunikation**: Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BOS) integrieren soziale Medien in deren Krisenkommunikation, um Informationen mit der Bevölkerung zur Vorbereitung oder Bewältigung einer gegenwärtigen Krisenlage zu teilen [MiZa17, RLKS16].
- **Überwachung**: Die Überwachung (Monitoring) sozialer Medien und die Integration bürgergenerierter Inhalte [ReKa17], etwa Augenzeugenberichte, Bilder und Videos, können zur Steigerung des Situationsbewusstseins [ICDV15, VHSP10] in Katastrophenlagen beitragen.
- **Alarm**: Aufgrund der limitierten Personal- und Zeitressourcen könnten BOS soziale Medien üblicherweise nicht dauerhaft überwachen [RLKS16]. Eine solche Applikation sollte dem Endnutzer mitteilen, sofern bestimmte Ereignisse erkannt [ICDV15] oder Schwellenwerte von Kennzahlen überschritten wurden.
- **Kollaboration**: BOS arbeiten intra- und interorganisational an der Bewältigung von Krisensituationen [ReKa17], wobei unterschiedliche Aufgaben durch verschiedene Mitarbeiter oder in Zusammenarbeit mit Virtual Operations Support Teams (VOST) [DePA14] geplant, verwaltet und erledigt werden müssen.

Darüber hinaus bieten bestehende Applikationen – meist algorithmische – Analysefunktionen an, um betriebswirtschaftliche oder krisenspezifische Kennzahlen für die Endnut-

zer anzubieten. Dies umfasst vor allem die Erfassung wichtiger Einflussnehmer, der gegenwärtig vorherrschenden Stimmung (Tonalität), sowie die Identifikation von Themen, die im öffentlichen Diskurs ausgetauscht werden. Da in mitunter zeitkritischen Situationen in Katastrophenlagen die Qualität der vorliegenden Daten beurteilt werden muss [MFMR15], wird auch das Kriterium der Qualität herangezogen.

- **Einflussnehmer**: In Katastrophenlagen agieren in der Bevölkerung meist einige besonders motivierte Benutzer, die krisenrelevante Informationen verteilen [VHSP10] oder Bewältigungsaktivitäten organisieren [KaRe16].
- **Tonalität**: Mithilfe von Tonalitätsanalysen kann das Stimmungsbild (Sentiment) der Bevölkerung während einer Katastrophenlage erfasst und analysiert werden, um darauf angemessen zu reagieren [LuWM15, NaVS12].
- **Thema**: Um im Kontext der wahrgenommenen Informationsflut in sozialen Medien die thematischen Strukturen der gegenwärtigen Interaktionen zu erkennen, werden Algorithmen der Themenerkennung (Topic Detection) eingesetzt [FAAB13].
- **Qualität**: Soziale Medien generieren große Datenmengen mit meist unklarer Informationsqualität. Gerade für Entscheidungsträger in zeitkritischen Kontexten wie Krisensituationen ist es wichtig, in der Bewertung der Informationsqualität unterstützt zu werden [MFMR15].

Da Informationen und Kennzahlen zur Interpretation durch den Endnutzer angemessen visualisiert werden müssen, bieten Applikationen verschiedene Visualisierungsoptionen mit unterschiedlichen Graden der Anpassbarkeit an. Dabei werden vor allem drei Klassen, also Diagramme, Filter- und Suchfunktionen, sowie Karten eingesetzt.

- **Diagramme und Grafiken**: In analytischen Systemen werde diverse Diagramm- und Grafikformen, oft organisiert als Dashboards, zur visuellen Analyse [KAFC08] von Informationen und Kennzahlen verwendet [CTBJ12].
- **Filter**: Die Verarbeitung der Datenmenge, die durch Interaktionen in sozialer Medien generiert wird, stellt für die limitierten Personal- und Zeitressourcen der BOS eine Herausforderung dar [RLKS16], sodass geeignete Filter- und Suchfunktionen zur Kanalisierung des Informationsflusses beitragen können [RLKK16].
- **Karte**: Die bisherige Forschung betont in sozialen Medien die Relevanz georeferenzierter Informationen für das Krisenmanagement, um die Glaubwürdigkeit der Information einzuschätzen [ReKS17] und das Situationsbewusstsein zu erhöhen [VHSP10].

4 Detailbetrachtung und Marktübersicht

Die Markstudie soll einen Überblick über bestehende Systeme und Funktionalitäten liefern, die eine potenzielle Relevanz für das Krisenmanagement aufweisen.

4.1 Diskussion der Eigenschaften bestehender Systeme

Es gilt die Applikationen den jeweiligen Attributen zuzuweisen. Bei der Betrachtung der Managementfunktionen wird deutlich, dass Alarm-, Kommunikations- und Kollaborationsfunktionen häufiger in Management-Systemen vertreten sind als in Intelligence-Systemen. Spezialsysteme bieten, mit Ausnahme von Ushahidi, keine der untersuchten Managementfunktionen an. Ein Teil dieser Systeme (*BrandWatch*, *HootSuite*) bietet Komplettlösungen für Organisationen, insbesondere Unternehmen, zur ganzheitlichen Gestaltung ihrer Arbeitsprozesse im Umgang sozialer Medien an. Dazu gehören nicht nur Aufgaben in Bezug zur Analyse der eigenen Marke oder Person, sondern auch die Kommunikation mit gut vernetzten Nutzern, die über relevante Inhalte kommunizieren. Wichtige Bereiche stellen die Produktentwicklung durch das Aufgreifen neuer Trends und Stimmungen dar, sowie die Abwicklung des klassischen Customer-Relationship-Managements: Viele Aufgabenbereiche, wie zum Beispiel das Kontaktieren einer Supportschnittstelle, werden zunehmend über soziale Medien abgewickelt. Dies erfordert die Arbeitsteilung und Messung von Erfolgsfaktoren zur Steuerung und Kontrolle der eigenen Aktivitäten. Zu diesem Zweck bieten ganzheitliche Management-Systeme auch Organisations- und Teamfunktionen an (*Coosto*, *SproutSocial*). Eine Art der Externalisierung von Informationen stellen Alarmsysteme dar, welche es Nutzern erlauben kritische Schwellenwerte zu definieren. Erfüllt ein Wert diese festgelegte Bedingung, reagiert das Benachrichtigungssystem mittels SMS oder E-Mail, sodass auf kurzfristige Entwicklungen schnell reagiert werden kann.

Hinsichtlich der Analysefunktionen wird deutlich, dass alle untersuchten Managementsysteme, abweidend von Intelligence-Systemen, eine Einflussnehmeranalyse anbieten, während Themen- und Tonalitätsanalysen in Intelligence-Systemen prozentual häufiger repräsentiert sind. Für Unternehmen sind diese Einflussnehmer und Meinungsführer Schlüsselfaktoren, da sie die Meinungsgestaltung in der Community beeinflussen und so zum Absatz eines Produktes indirekt beitragen können. Die Identifizierung aufkommender Trends und Themen, deren Verfolgung über einen definierten Zeitraum sowie die Auswertung der jeweiligen Entwicklungen ist eine oft angewandte Verfahrensweise, mit dem Ziel aus der Menge an Daten eine Aggregation nach Aktualität und Relevanz durchzuführen. Neuste Entwicklungen in der Frequentierung spezifischer Themen lassen zudem Rückschlüsse auf realweltliche Ereignisse oder Krisen zu. Für die Bewertung von Tonalität und Stimmung werden Analysemethoden herangezogen, welche durch den Einsatz von Natural Language Processing (NLP) Worte und Formulierungen aus einem Textkörper extrahieren und bewerten. Die einzelnen Produkte differenzieren sich hier vor allem durch die Qualität und den Umfang der angebotenen Funktionen. Die Tonalitätsanalyse kann beispielsweise durch den einfachen Abgleich mit einer Wortdatenbank vollzogen werden oder es können Methoden aus dem Bereich des Machine Learning (ML) zur Erstellung und dem Training individueller Modelle angewandt werden. Auch hier bieten Spezialsysteme kaum die untersuchten Analysefunktionen an, wobei vereinzelt und insbesondere die Themenanalyse unterstützt werden. Es wird weiterhin deutlich, dass keines der untersuchten Systeme eine spezifische Funktionalität zur Analyse der Informationsqualität anbietet, die Benutzer im zeitkritischen Kontext von Krisensituatio-

nen zur Bewertung der eingehenden Informationsflut unterstützen könnte.

Der Vergleich der Visualisierungsoptionen offenbart, dass Such- und Filterungsmechanismen sowie Diagramme zur Informationsaufbereitung von nahezu allen Intelligence- und Management-Systemen sowie vielen Spezialsystemen angeboten werden. Interessant ist hier, dass Management-Systeme im Vergleich zu Intelligence- und Spezialsystemen kaum Kartenvisualisierungen anbieten. *Public Sonar* liefert dabei das umfangreichste Funktionalitätsspektrum, welches sich stark an betriebswirtschaftlichen Plattformen orientiert. Im Mittelpunkt der Analyse für das Krisenmanagement steht die Schaffung eines möglichst umfassenden Situationsüberblicks, sodass in Gefahrenlagen und Krisensituationen die Lageeinschätzung verbessert wird. Aus diesem Grund erhält die Kartenvisualisierung eine besondere Bedeutung, da eine Krise maßgeblich durch ihren räumlichen und zeitlichen Rahmen charakterisiert wird. Alle betrachteten Systeme bieten mehr oder weniger umfangreiche Anpassungsmöglichkeiten und sind auf Endnutzer ausgerichtet, die kein oder nur wenig technisches Hintergrundwissen besitzen. Daher beschränkt sich die Anpassbarkeit in großen Teilen auf Darstellungselemente, welche in einem zentralen Dashboard visualisiert werden. Die bestehenden Kennzahlen werden so aufbereitet, dass der Endnutzer entlang festdefinierter Dimensionen skalieren und analysieren kann. Auf einem anderen Level der Anpassbarkeit befinden sich Systeme wie *HootSuite*, die eine starke Softwareerweiterbarkeit durch die Bereitstellung eines eigenen SDK erreichen. Expertennutzer können so neue Funktionalitäten schaffen, die allen Endnutzern zur Verfügung stehen. Ansätze für eine analytische Erweiterbarkeit zeigt das System *alert.io* mit dem Aufbau eines Lernprozesses der Tonalitätsanalyse. Der Endnutzer trainiert diese Komponente auf Basis seines eigenen Situationsverständnisses, sodass der ML-Algorithmus ab einer bestimmten Größe der Erfahrungsdatenbasis autark auf neuen Daten arbeiten kann. Insgesamt lässt sich die Nutzerinteraktion der Systeme in die Datenvorselektion und den Interpretationsprozess einordnen. Es fehlt die dynamische Gestaltung des Analyseprozesses, sodass das nutzereigene Erkenntnisinteresse auf allen Ebenen der Analyse wirken kann.

4.2 Detailbetrachtung exemplarischer Systeme

Während die meisten Systeme für den betrieblichen, kommerziellen Einsatz entwickelt wurden und entsprechende Szenarien bewerben, existierten auch Intelligence- und Management-Systeme für den öffentlichen Sektor, sowie Spezialsysteme für das Krisenmanagement. *BrandWatch* ist ein Intelligence-System für die Überwachung und Analyse marktbezogener Größen im Unternehmenskontext. Die Aufbereitung der Analyseergebnisse findet im Rahmen eines Dashboards statt, welches auf die unterschiedlichen Kundenbedürfnisse angepasst werden kann (Abbildung 1). Der Nutzer auf einem geringen Komplexitätsniveau, durch Parametrisierung sowie Anpassung von Darstellungselementen, eine Ausrichtung der visuellen Analyse realisieren. Die vorhandenen Such- und Filterfunktionen ergänzen die Anpassbarkeit der Darstellung und Chartanalysen um weitere Interaktionsmöglichkeiten. Durch eine responsive Aufbereitung ist es zudem möglich das System auf unterschiedlichen (mobilen) Endgeräten zu nutzen.

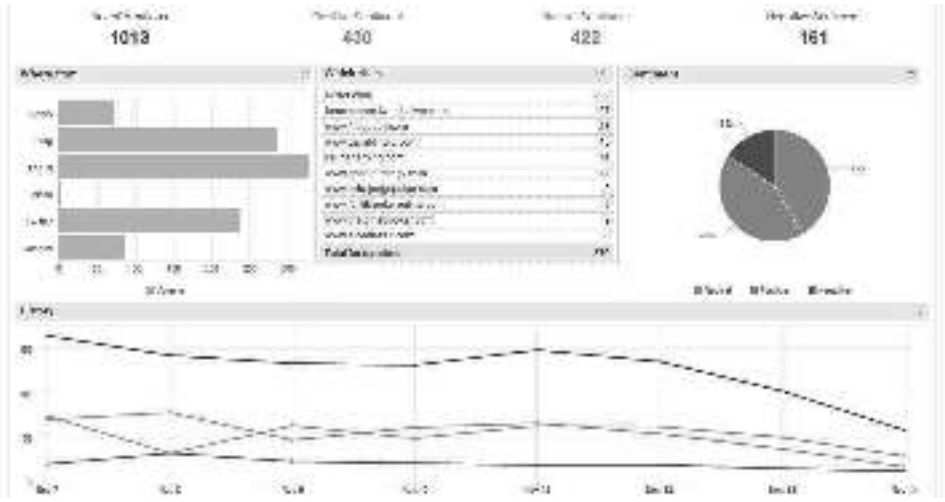


Abb. 1. BrandWatch Dashboard mit Quellen- und Tonalitätsdiagrammen

Public Sonar ist ein für den öffentlichen Sektor entwickeltes Intelligence-System, um Frühwarnungen anzubieten, Situationsbewusstsein zu fördern und die Nachbearbeitung einer Katastrophenlage zu unterstützen. Für die Visualisierung der Daten und Analyseergebnisse existiert ein frei anpassbares Dashboard, das entsprechend der zugrundeliegenden Krisensituation angepasst werden kann (Abbildung 2). Eine interaktive Karte erlaubt eine räumliche Eingrenzung der Analyse. Nach einer automatisierten Vorverarbeitung des Systems findet neben textuellen Daten auch eine Visualisierung von relevanten Fotos statt. Über Suchanfragen können Nachrichten, Visualisierungen oder Geoinformationen aufbereitet und mit vorgefertigten Schlüsselwort-Filtern analysiert werden.



Abb. 2. PublicSonar Suche mit angewandten Filteroptionen

Geofeedia stellt ein standortbasiertes Intelligence-System dar, die eine echtzeitbasierte Visualisierung und Verarbeitung des Informationsstroms aus sozialen Medien anstrebt. Im Mittelpunkt stehen die Anzeige der einzelnen Datensätze auf einer und die Anordnung des Informationsstroms sozialer Medien als zeitlich geordnete Collage. Die nutzergesteuerte Suche besteht aus der interaktiven Markierung eines geografisch relevanten Bereiches. Dynamisch anpassbare Polygone können dazu als Karten-Overlay verwendet und eine feingranulare Bereichseingrenzung vorgenommen werden Karte (Abbildung 3). Optional ist es möglich eine Textsuche für Orte durchzuführen. Ist die Anfrage getätigt, werden alle verfügbaren Daten mit Bezug zum Zielgebiet in den entsprechenden Bereich geladen.



Abb. 3. Geofeedia Dashboard mit geozentrierter Informationsdarstellung

4.3 Marktübersicht zu bestehenden Social Media Analytics Plattformen

Für die Markstudie wurden insgesamt 35 Systeme ausgewählt und in drei Gruppen eingeordnet. Ihre Anwendbarkeit im Krisenmanagementkontext und ihr Funktionsumfang variieren dabei wie in den vorherigen Kapiteln beschrieben sehr stark. Die erste Gruppe bilden so genannte *Social Media Intelligence Systeme*, die sich auf die Analyseaufgaben im Kontext sozialer Medien fokussieren. Als zweite Gruppe existieren die *Social Media Management Systeme*, die neben der Analysefunktionalität auch die organisationale Interaktion und Kommunikation in sozialen Medien gestalten. Und die dritte Gruppe besteht aus *Softwarespezialisierungen*, welche bestimmte Funktionalitäten bieten oder andere Ansätze wie das Crowdsourcing forcieren. Da sich vor allem wirtschaftlich motivierte Systeme durch ihren dynamischen und kompetitiven Kontext in ständiger Entwicklung befinden, kann eine Klassifizierung der Systeme und Bestimmung ihrer Features in den meisten Fällen nur temporär vorgenommen werden.

	Systeme	Crossmedia	Kommunikation	Überwachung	Alarm	Kollaboration	Einflussnehmer	Tonalität	Thema	Qualität	Karte	Filter	Diagramme
Intelligence-Systeme	*Adobe Social*	✓	×	×	×	✓	✓	✓	✓	×	✓	✓	✓
	Alert.io	✓	×	×	×	×	✓	✓	✓	×	×	✓	✓
	BrandWatch	✓	×	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	×	✓	✓
	Cogia	✓	✓	✓	×	✓	×	✓	✓	×	✓	✓	✓
	Evolve24	✓	×	✓	×	✓	×	✓	✓	×	✓	✓	✓
	GeoFeedia	✓	×	✓	×	✓	✓	✓	✓	×	✓	✓	✓
	Meltwater	✓	✓	✓	×	✓	×	×	✓	×	✓	✓	✓
	PublicSonar	✓	×	✓	✓	×	✓	✓	✓	×	✓	✓	✓
	Signal	✓	✓	✓	×	×	✓	×	✓	×	✓	✓	×
	Socialmention	✓	×	×	×	✓	×	✓	✓	×	×	✓	✓
	Quintly	✓	✓	×	×	✓	~	×	×	×	×	✓	✓
	Trackur	✓	×	✓	×	×	✓	✓	✓	×	×	✓	×
	TweetTracker	×	×	×	×	×	✓	×	✓	×	✓	✓	~
	ubermetrics	✓	×	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	×	✓	✓
	VicoAnalytics	✓	✓	✓	×	✓	✓	×	✓	×	×	✓	✓
Management-Systeme	*Coosto*	✓	✓	✓	✓	×	✓	✓	✓	×	✓	✓	✓
	Crowdbooster	✓	✓	×	×	✓	✓	×	×	×	×	✓	✓
	Lithium	✓	✓	×	✓	✓	✓	✓	✓	×	×	✓	✓
	HootSuite	✓	✓	×	✓	✓	✓	✓	✓	×	×	✓	✓
	Radian6	✓	✓	✓	×	✓	✓	✓	✓	×	×	✓	✓
	Simplify360	✓	✓	✓	×	✓	✓	✓	✓	×	×	✓	✓
	SocialBench	✓	✓	×	✓	✓	✓	×	✓	×	×	✓	✓
	SproutSocial	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	✓	×	×	✓	✓
	TweetDeck	×	✓	×	×	×	✓	×	~	×	×	✓	×
	CrowdControlHQ	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	×	✓	✓	✓
	SocialSignIn	✓	✓	×	✓	~	✓	×	✓	×	×	✓	✓
	MusterPoint	✓	✓	×	✓	×	✓	×	×	×	×	✓	✓
Spezialsysteme	*AIDR*	×	×	×	×	×	✓	×	×	×	×	✓	×
	CircleCount	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	~
	CrisisTracker	×	×	×	×	×	✓	×	×	×	✓	✓	✓
	SensePlace2	×	×	×	×	×	×	×	✓	×	✓	✓	×
	Tweedr	×	×	×	×	×	×	×	✓	×	×	×	×
	TwitInfo	×	×	×	×	×	✓	✓	✓	×	✓	✓	✓
	Twitris	×	×	×	×	×	✓	✓	✓	×	✓	✓	✓
	Ushahidi	~	×	✓	✓	×	✓	×	×	×	✓	✓	✓

Tab. 1. Marktübersicht von Intelligence-, Management- und spezialisierten Analysesystemen

5 Zusammenfassung und Ausblick

Mit zunehmender Masse an Interaktionen und damit Daten sozialer Medien, auch „Big Social Data“ genannt [OOHK17], stieg auch die Menge an Systemen zur Analyse solcher Daten rasant an [Cisc16]. Die Systeme haben je nach Anwendungskontext und Art des Erkenntnisinteresses verschiedene Stärken und Schwächen. Manche Systeme ermöglichen es etwa über verschiedene Plattformen hinweg Daten aufzubereiten, andere fokussieren eine Kommunikations- und Teamkomponente [ReKa17]. Die Marktstudie gibt einen Überblick über bestehende Intelligence-, Management- und Spezialsysteme sowie derer Features (Kapitel 3.1), die für das Krisenmanagement und die verstärkte Kommunikation in Katastrophenlagen potenziell relevant sind [FrLY12], und gruppiert diese unter Management- und Analysefunktionen sowie Visualisierungsoptionen. Dabei liefern Management-Systeme meist die umfangreichsten Features, die für den Einsatz im Krisenmanagement eingerichtet werden können, lassen aber häufig die dafür relevante Kartenfunktionalität vermissen [ReKS17]. Weiterhin liefert keines der bestehenden Systeme ein Framework zur Bewertung der Informationsqualität in sozialen Medien [MFMR15]. Auch wenn die Marktstudie eine Orientierung über relevanten Funktionen anbietet, ist unklar, ob und wie diese auf die Anforderungen von Behörden maßgeschneidert werden können. Denn selbst Systeme, die mit Anwendungsfällen für den öffentlichen Sektor werben, sind kommerziell motiviert und die vorgestellten Spezialsysteme fokussieren meist wenige, bestimmte Funktionalitäten, die nur eine Teilmenge der vorgestellten Anforderungen und Ziele von Behörden unterstützen. Abschließend ist zu bemerken, dass die Menge der berücksichtigten IT-Systeme für diese Marktstudie nicht den Anspruch von Vollständigkeit erheben kann. So wurden Systeme, die domänenspezifisch angeboten werden und die inzwischen Funktionalitäten sozialer Medien integrieren (z.B. von Frequentis, Intergraph, Siemens, Thales), nicht in die Marktstudie einbezogen.

References

[BaTr14] Batrinca, Bogdan ; Treleaven, Philip C.: Social media analytics: a survey of techniques, tools and platforms. In: *AI & SOCIETY* Bd. 30, Springer-Verlag (2014), No. 1, S. 89–116

[ChCh11] Cheong, F ; Cheong, Christopher: Social media data mining: A social network analysis of tweets during the 2010–2011 Australian floods. In: *PACIS 2011 Proceedings* (2011) — ISBN 9781864356441

[Cisc16] Cisco Systems: *Global data center IP traffic from 2013 to 2019*, 2016

[CPRY12] Cameron, Mark A. ; Power, Robert ; Robinson, Bella ; Yin, Jie: Emergency situation awareness from twitter for crisis management. In: *Proceedings of the 21st international conference companion on World Wide Web - WWW '12 Companion* (2012), No. July 2015, S. 695 — ISBN 9781450312301

[CTBJ12] Chae, Junghoon ; Thom, Dennis ; Bosch, Harald ; Jang, Yun ; Maciejewski, Ross ; Ebert, David S. ; Ertl, Thomas: Spatiotemporal social media analytics for abnormal event detection and examination using seasonal-trend decomposition. In: *IEEE Conference on Visual Analytics Science and Technology 2012, VAST 2012 - Proceedings*, 2012 — ISBN 9781467347532, S. 143–152

[DaSt17] Dailey, Dharma ; Starbird, Kate: Social Media Seamsters: Stitching Platforms & Audiences into Local Crisis Infrastructure. In: *Proceedings of the 20th ACM Conference on Computer-Supported Cooperative Work & Social Computing*, 2017 — ISBN 9781450343350

[DePA14] St. Denis, L.A. ; Palen, L. ; Anderson, K.M.: Mastering social media: An analysis of Jefferson County's communications during the 2013 Colorado floods. In: *International Conference on Information Systems for Crisis Response and Management (ISCRAM)*, 2014 — ISBN 9780692211946, S. 737–746

[FAAB13] Fuchs, Georg ; Andrienko, Natalia ; Andrienko, Gennady ; Bothe, Sebastian ; Stange, Henrik: Tracing the German Centennial Flood in the Stream of Tweets: First Lessons Learned. In: *SIGSPATIAL International Workshop on Crowdsourced and Volunteered Geographic Information*. Orlando, USA, 2013 — ISBN 9781450325288, S. 2–10

[FiRS15] Fichet, Elodie ; Robinson, John ; Starbird, Kate: Eyes on the Ground: Emerging Practices in Periscope Use during Crisis Events. In: *Proceedings of the 13th International ISCRAM Conference*, 2015

[FrLY12] Fraustino, Julia Daisy ; Liu, Brooke ; Yan, Jin: Social Media Use during Disasters: A review of the Knowledge Base and Gaps (2012), S. 1–39

[Gart16] Gartner: *Social Analytics - Gartner IT Glossary*.

[HaKP11] Han, Jiawei ; Kamber, Micheline ; Pei, Jian: *Data Mining: Concepts and Techniques*. 3. Aufl. : Elsevier, 2011

[HuPa09] Hughes, Amanda Lee ; Palen, Leysia: Twitter adoption and use in mass convergence and emergency events. In: LANDGREN, J. ; JUL, S. (Hrsg.): *Proceedings of the Information Systems for Crisis Response and Management (ISCRAM)*. Bd. 6. Gothenburg, Sweden, 2009

[ICDV15] Imran, Muhammad ; Castillo, Carlos ; Diaz, Fernando ; Vieweg, Sarah: *A Processing Social Media Messages in Mass Emergency: A Survey*. Bd. 47, 2015 — ISBN 0126803919

[KAFC08] Keim, Daniel ; Andrienko, Gennady ; Fekete, Jean-daniel ; Carsten, G ; Melan, Guy: Visual Analytics: Definition, Process and Challenges. In: *Information Visualization - Human-Centered Issues and Perspectives* (2008), S. 154–175 — ISBN 978-3-540-70955-8

[KaRe16] Kaufhold, Marc-André ; Reuter, Christian: The Self-Organization of Digital Volunteers across Social Media: The Case of the 2013 European Floods in Germany. In: *Journal of Homeland Security and Emergency Management (HSEM)* Bd. 13 (2016), No. 1, S. 137–166

[LuWM15] Lu, Yafeng ; Wang, Feng ; Maciejewski, Ross: Visualizing Social Media Sentiment in Disaster Scenarios. In: *International Conference on World Wide Web (WWW)*, 2015 — ISBN 9781450334730, S. 1211–1215

[Mccu14] McCue, Colleen: *Data Mining and Predictive Analysis: Intelligence Gathering and Crime Analysis*. 2. Aufl. : Elsevier, 2014

[MFMR15] Moi, Matthias ; Friberg, Therese ; Marterer, Robin ; Reuter, Christian ; Ludwig, Thomas ; Markham, Deborah ; Hewlett, Mike ; Muddiman, Andrew: Strategy for Processing and Analyzing Social Media Data Streams in Emergencies. In: *Proceedings of the International Conference on Information and Communication Technologies for Disaster Management (ICT-DM)*, 2015 — ISBN 9781479999231

[MiZa17] Mirbabaie, Milad ; Zapatka, Elisa: Sensemaking in Social Media Crisis Communication – a Case Study on the Brussels Bombings in 2016. In: *25th European Conference on Information Systems (ECIS)*, 2017

[MJRP11] Maceachren, Alan M ; Jaiswal, Anuj ; Robinson, Anthony C ; Pezanowski, Scott ; Savelyev, Alexander: SensePlace2 : GeoTwitter Analytics Support for Situational Awareness (2011), S. 181–190 — ISBN 9781467300148

[NaTa15] Nasser, Thabet ; Tariq, RS: Big Data Challenges. In: *Journal of Computer Engineering & Information Technology* Bd. 4 (2015), No. 3 — ISBN 9715512313

[NaVS12] Nagy, Ahmed ; Valley, CMS ; Stamberger, Jeannie: Crowd Sentiment Detection during Disasters and Crises. In: *Proceedings of the 9th International ISCRAM Conference*. Vancouver, Canada, 2012, S. 1–9

[OOHK17] Olshannikova, Ekaterina ; Olsson, Thomas ; Huhtamäki, Jukka ; Kärkkäinen, Hannu: Conceptualizing Big Social Data. In: *Journal of Big Data* Bd. 4, Springer International Publishing (2017), No. 1, S. 1–19

[Pohl13] Pohl, Daniela: *Social Media Analysis for Crisis Management: A Brief Survey*. URL http://stcsn.ieee.net/e-letter/vol-2-no-1/social-media-analysis-for-crisis-management-a-brief-survey. - assessed on 2014-05-25

[ReKa17] Reuter, Christian ; Kaufhold, Marc-André: 15 Years of Social Media in Emergencies: A Retrospective Review and Future Directions for Crisis Informatics. In: *Journal of Contingencies and Crisis Management (JCCM)* (2017)

[ReKS17] Reuter, Christian ; Kaufhold, Marc-André ; Steinfort, René: Rumors, Fake News and Social Bots in Conflicts and Emergencies: Towards a Model for Believability in Social Media. In: COMES, T. ; BÉNABEN, F. ; HANACHI, C. ; LAURAS, M. (Hrsg.): *Proceedings of the Information Systems for Crisis Response and Management (ISCRAM)*, 2017

[ReSc14] Reuter, Christian ; Scholl, Simon: Technical Limitations for Designing Applications for Social Media. In: KOCH, M. ; BUTZ, A. ; SCHLICHTER, J. (Hrsg.): *Mensch & Computer 2014: Workshopband*. München, Germany : Oldenbourg-Verlag, 2014, S. 131–140

[RLKK16] Reuter, Christian ; Ludwig, Thomas ; Kotthaus, Christoph ; Kaufhold, Marc-André ; Radziewski, Elmar von ; Pipek, Volkmar: Big Data in a Crisis? Creating Social Media

Datasets for Emergency Management Research. In: *i-com: Journal of Interactive Media* Bd. 15 (2016), No. 3, S. 1–16

[RLKP15] Reuter, Christian ; Ludwig, Thomas ; Kaufhold, Marc-André ; Pipek, Volkmar: XHELP: Design of a Cross-Platform Social-Media Application to Support Volunteer Moderators in Disasters. In: *Proceedings of the Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI)*, 2015, S. 4093–4102

[RLKS16] Reuter, Christian ; Ludwig, Thomas ; Kaufhold, Marc-André ; Spielhofer, Thomas: Emergency Services Attitudes towards Social Media: A Quantitative and Qualitative Survey across Europe. In: *International Journal on Human-Computer Studies (IJHCS)* Bd. 95 (2016), S. 96–111

[SaOM13] Sakaki, Takeshi ; Okazaki, Makoto ; Matsuo, Yutaka: Tweet analysis for real-time event detection and earthquake reporting system development. In: *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering* Bd. 25 (2013), No. 4, S. 919–931 — ISBN 2011030099

[SDBN14] Stieglitz, Stefan ; Dang-Xuan, Linh ; Bruns, Axel ; Neuberger, Christoph: Social Media Analytics: An Interdisciplinary Approach and Its Implications for Information Systems. In: *Business and Information Systems Engineering* Bd. 6 (2014), No. 2, S. 89–96

[StPa10] Starbird, Kate ; Palen, Leysia: Pass It On?: Retweeting in Mass Emergency. In: *Proceedings of the Information Systems for Crisis Response and Management (ISCRAM)*. Seattle, USA, 2010, S. 1–10

[TrGl15] Trilateral Research & Consulting ; Global Disaster Preparedness Center: *Comparative Review of Social Media Analysis Tools for Preparedness*, 2015

[VHSP10] Vieweg, Sarah ; Hughes, Amanda Lee ; Starbird, Kate ; Palen, Leysia: Microblogging During Two Natural Hazards Events: What Twitter May Contribute to Situational Awareness. In: *Proceedings of the Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI)*. Atlanta, USA : ACM, 2010, S. 1079–1088

[ZCLL10] Zeng, Daniel ; Chen, Hsinchun ; Lusch, Robert ; Li, Shu Hsing: Social media analytics and intelligence. In: *IEEE Intelligent Systems* Bd. 25 (2010), No. 6, S. 13–16 — ISBN 1541-1672 VO - 25

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 1339

Vorgehens- und Datenmodell zur strategischen Planung innovativer Dienstleistungen im Katastrophenschutz

Jens Pottebaum, Philipp Scholle und Iris Gräßler[1]

Abstract: Menschen und Unternehmen müssen in Katastrophen Aufgaben des Selbstschutzes übernehmen und sich auf Gefahren adäquat vorbereiten. Die Entwicklung von IT-Diensten, z.B. in Form von Apps für mobile Geräte, unterliegt den Risiken des Sicherheitsmarkts, der durch Gesetz und BOS-Strukturen geprägt ist. Existierende Daten können genutzt werden, dieses Risiko mittels Szenario-Technik beschreibbar und bewertbar zu machen. Dazu wird ein angepasstes Vorgehens- und Datenmodell erarbeitet, das unter Nutzung semantischer Technologien in der strategischen Planung kontextspezifisch eingesetzt werden kann. Die Validierung erfolgt fallstudienbasiert; die Anwendung wird hier am Beispiel der Herleitung von Einflussfaktoren erläutert.

Keywords: Strategische Planung, Innovationsmanagement, Szenariotechnik, Datenmanagement, Interoperabilität, Selbstschutz, Katastrophenschutz, Notfallvorsorge

1 Einleitung

Katastrophen werden durch erhebliche Auswirkungen auf die Gesellschaft gekennzeichnet. Die Vorbereitung und Reaktion auf derartige Schadenereignisse gehört zu den Aufgaben von Bund, Land und Kommune. Diese werden durch Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BOS) ausgeführt, erfordern jedoch entsprechend der gesetzlichen Vorgaben eine Vorbereitung und Mitwirkung durch die Bevölkerung. Während das primäre Schutzziel für Bürger die eigene Gesundheit ist, streben Unternehmen eine ununterbrochene Geschäftsfähigkeit im Sinne von ‚Business Continuity' an (vgl. [Reu15]). Die Vernetzung existierender Datenquellen auf Plattformen ermöglicht über die philantropischen Ansätze internationaler Konzerne wie Alphabet hinaus Geschäftsmöglichkeiten zur Erhöhung des Selbstschutzes der Bevölkerung und Unternehmen über die existierenden öffentlichen Institutionen hinaus. Google Crisis Response und der Facebook Safety Check sind entsprechende Beispiele. Darüber hinaus können etwa Navigationsdienste, welche abhängig von Extremwetterereignissen Logistikketten und -Wege optimieren, die Lieferfähigkeit von Unternehmen unterstützen. In der Planung zur Entwicklung solcher Angebote ist insbesondere für kleinere und mittlere Unternehmen (KMU) eine umfassende Bewertung des Marktes (siehe [Skr14]), der zu Grunde liegenden Einflussfaktoren und Risiken notwendig. Auf diese Weise sollen Entscheidungen vorbereitet und abgesichert werden. In diesem Beitrag wird ein auf der bekannten Szenario-Technik des strategischen

[1] Heinz Nixdorf Institut, Universität Paderborn, Fachgruppe Produktentstehung, Fürstenallee 11, 33102 Paderborn, {jens.pottebaum, philipp.scholle, iris.graessler}@hni.upb.de

doi:10.18420/in2017_134

Managements aufbauender Ansatz vorgestellt, welcher sich insbesondere aber nicht ausschließlich für die Anwendung in KMUs eignet. Hierzu werden ein neuartiges Vorgehensmodell sowie ein Datenmodell präsentiert, welche die breite Anwendung der Szenario-Technik zur strategischen Planung innovativer Dienstleistungen zur Verbesserung des Selbstschutzes ermöglichen. Dazu werden domänenspezifische Einflussfaktoren herausgearbeitet. Vorteile dieses Ansatzes sind insbesondere die hohe Durchgängigkeit des Vorgehens sowie der verringerte Aufwand zur Szenario-Erstellung.

Im folgenden Kapitel werden die Grundlagen der Szenario-Technik (Abschnitt 2.1) und der Stand der Technik zu Datenmodellen in diesem Bereich (Abschnitt 2.2) mit Blick auf den Handlungsbedarf behandelt. Das agile Vorgehensmodell zur strategischen Planung innovativer Dienstleistungen im Katastrophenschutz wird in Kapitel 3, das integrierte Szenario-Datenmodell in Kapitel 4 dargestellt. Ein Anwendungsbeispiel für die strategische Planung innovativer Dienstleitungen zur Verbesserung des Selbstschutzes wird im Kapitel 5 beschrieben. In Kapitel 6 wird ein Ausblick auf weiterführende Forschungsfragen in diesem Themenfeld gegeben.

2 Stand der Technik

Ausgehend vom strategischen Management sind verschiedene Prozessmodelle der Szenario-Technik entstanden [Mey92]. Ausgehend vom militärischen Begriff des Szenarios werden die Prozessmodelle verwendet, um mögliche (Umfeld-) Entwicklungen eines Unternehmens zu antizipieren [Rei92]. Es können dabei auch spezifische Markt- oder Technologieszenarien abgeleitet werden [Pau96]. Die Umsetzung einer für Anwendungsfälle im Katastrophenschutz nutzbaren Szenario-Technik erfordert die Einbindung von Datenbeständen, die allgemeine Trends ebenso wie domänenspezifische Entwicklungen abbilden. Dabei muss die Dynamik berücksichtigt werden, die sowohl durch die schnelle technische Evolution als auch durch Schadenereignisse und ihre (gesellschaftlichen) Auswirkungen begründet ist. Dabei wird die Beschreibung von Szenarios angestrebt, die mögliche Zustände der Zukunft bezogen relevante Einflussfaktoren beschreiben und die als Entscheidungsgrundlage genutzt werden sollen. Dieses Begriffsverständnis ist somit abzugrenzen von Szenarien, die z. B. in einer Anforderungsanalyse zur Veranschaulichung (vgl. [Sut98] u.a.) oder im Training zur Beschreibung und Steuerung des Übungsablaufs (vgl. [PMK13]) verwendet werden.

2.1 Werkzeuge zur Strategischen Planung

Die Prozessmodelle der Szenario-Technik lassen sich in drei verschiedene Schulen gliedern: Intuitive Ansätze, Cross-Impact Analysen und Konsistenzbasierte Ansätze. Im Rahmen der intuitiven Schule werden Szenarien auf Basis eines nur geringfügig formalisierten Vorgehens gebildet [MR05], [BWB05]. Das Vorgehen greift hierbei nicht auf mathematische Beschreibungen zurück sondern sieht Szenarien vielmehr als

Ergebnis eines Diskussionsprozesses. Der auf Gordon und Hayward (1968) zurückgehende Cross-Impact Ansatz bildet Szenarien durch die Berechnung bedingter Wahrscheinlichkeiten für das Auftreten der Einflussfaktoren [GH68]. Dazu müssen die Auftrittswahrscheinlichkeiten der Entwicklungsrichtungen („Projektionen“) der Einflussfaktoren durch den Nutzer geschätzt werden. Konsistenzbasierte Ansätze stellen die dritte Schule der Prozessmodelle innerhalb der Szenario-Technik dar, für die in der Vergangenheit verschiedene Prozessmodelle entwickelt worden sind (siehe [GFS96], [Göt93], [Rei92]). In einem ersten Vorgehensschritt werden Einflussfaktoren gesammelt und die Wechselwirkungen dieser in der Einflussmatrix erfasst. Godet et al. oder auf Linss et al. verwenden optionale Algorithmen zur Detektion indirekter Einflüsse [AGM], [LF10]. Nach heuristischen Selektionsregeln (siehe [Rei92], [GFS96]) werden Einflussfaktoren selektiert, für welche im Folgenden Projektionen entwickelt werde. Diese werden paarweise auf Konsistenz bewertet. Diese Konsistenzmatrix ist Basis der Szenario-Bildung. Hierzu können Clusteralgorithmen, lineare Optimierung [NWW85] oder evolutionäre Algorithmen eingesetzt werden [GS09], [Hof00]. Unsicherheit innerhalb der Prozessmodelle lässt sich über Fuzzy Numbers implementieren [Miß01]. Dieses Vorgehen kann durch eine (teil-) automatisierte Konsistenzbewertung auf Basis neuronaler Netze unterstützt werden [Dön09].

Zu den Vorteilen der Szenario-Technik gehören die aktive und ergebnisoffene Auseinandersetzung mit Unsicherheiten, die Früherkennung von Einflüssen und resultierenden Risiken und die Verbesserung der Beurteilungs- und Bewertungskompetenz [Mie09]. Defizite der Szenario-Technik werden von verschiedenen Autoren untersucht (siehe [Tap13], [Mil03], [MR05], [BWB05], [Mie09]). Szenario-Technik ist auf Konzernebene verbreiteter als auf Ebene von Business Units oder KMUs [Tap13]. Obwohl eine strategische Bewertung auf unteren Hierachieebenen und in KMUs wichtig ist, verhindert der hohe Aufwand zur Durchführung eine verbreitete Anwendung [Tap13]. Gleichzeitig sind die Prozessmodelle zu detailliert [Tap13]. Die hohe Abhängigkeit von externem Expertenwissen ist ein weiterer Kritikpunkt an den Methoden [BWB05], [MR05]. Die Szenario-Technik setzt eine hohe Kenntnis des Betrachtungsfeldes heraus. Datensammlung und –Aufbereitung geht mit hohem Aufwand einher [MR05], [Mil03]. Der Zeitaufwand ist ein weiterer Kritikpunkt [MR05]. Die Notwendigkeit zur Automatisierung wird durch Millet (2003) betont um den Aufwand von der Szenario-Bildung zur eigentlichen Analyse zu verschieben.

Um den genannten Defiziten zu begegnen, sind in der Vergangenheit einzelne übergreifende Werkzeuge zur strategischen Planung entwickelt worden. Im Rahmen des „New Market Intelligence“-Tools entwickeln Mietzner et al. ein unternehmensübergreifendes Werkzeug, welches die Methode der Szenario-Technik mit Elementen des Wissensmanagements verbindet [Mie10]. Durch dieses Werkzeug sollen Synergieeffekte in der Anwendung der Szenario-Technik vor allem durch Informationssammlung und den Transfer von Wissen erreicht werden. Zur Ableitung von Strategien enthält das Tool Funktionen zum Aufbereiten der Daten und zur Identifikation der Einflussfaktoren [Mie10]. Das Tool ist spezifisch für die Branche der Biotechnologie und nicht auf andere Branchen übertragbar.

2.2 Datenmodelle im Kontext der Szenario-Technik

Die Zusammenführung des Prozessmodells und domänenspezifischer Anforderungen erfordert eine integrierte Datenbasis. Die beiden hier besonders fokussierten Gestaltungsoptionen sind Relationale Datenbanken (RDB) und Resource Description Framework (RDF) triple stores. Eine RDB-Implementierung ermöglicht die Abbildung strukturierter Daten, die im Zuge der Durchführung der Szenario-Technik generiert und gespeichert werden. Triple stores sind ein vorbereitender Schritt, um die gespeicherten Daten mit Hilfe semantischer Technologien in weiteren Anwendungsfällen kontextspezifisch nutzbar zu machen (vgl. Benchmarks durch [BS09]).

Semantische Technologien sollen verwendet werden, um das Datenmodelle bzw. Teile des Modells zu implementieren, zu pflegen und zu analysieren; auf eine Ontologie angewendete Inferenz- und Reasoning-Algorithmen unterstützen die Ableitung von Schlüssen (vgl. [Tur09], [Baa05]. Formalisierte Modelle werden mittels Autorenwerkzeugen wie Protégé modelliert oder implizit durch die Annotation von Inhalten definiert (vgl. Semantic MediaWikis). Dabei werden Standard-Formate verwendet: Das XML-basierte RDF ist eine Voraussetzung zur Einbindung von linked data-Ansätzen und damit u.a. zur Integration der Open Linked Data-Cloud. Die Web Ontology Language (OWL) und ihre Dialekte erweitern diese Fähigkeiten um die Gestaltung von logischen Bedingungen, Beziehungen und Restriktionen. Relevant sind hier vor allem Ansätze zur Einbindung domänenspezifischer Modelle. Es existieren verschiedene Ontologien zur Modellierung spezifischer Aspekte, die häufig auf allgemeine top-level Ontologien bezogen werden müssen (siehe [LBS13]).

Bisherige Datenmodelle für die Szenario-Technik sind in einfachen Software-Anwendungen implementiert, die in Beratungsprojekten und selten auch als kommerziell erwerbbare Software zum Einsatz kommen (z.B. SINUS Szeno-Plan, KaufmanHall „axiom scenario planning“). Die methodischen Ansätze werden in Abschnitt 2.1 referenziert, die jeweiligen Datenmodelle sind jedoch nicht publiziert.

3 Agiles Vorgehensmodell zur Strategischen Planung

Der Sicherheitsmarkt ist durch rechtliche Rahmenbedingungen und föderale Strukturen schwer zugänglich und für innovative, noch nicht etablierte Unternehmen bezüglich der wirtschaftlichen Erfolgsaussichten neuer Produkte kaum einschätzbar. Das entsprechende Risiko für die Einführung von Diensten zur Steigerung des Selbstschutzes in Katastrophenlagen sorgt daher für zurückhaltende Strategien. Die Kritik an der Szenario-Technik (Abschnitt 2.1) lässt sich durch eine Anpassung der Prozessmodelle der konsistenzbasierten Szenario-Technik mindern. Zu den Anforderungen zählen die Reduktion des Aufwandes zur Szenario-Bildung, die Reduktion der Abhängigkeit vom Wissen externer Experten, die Erhöhung der Intuitivität der resultierenden Szenarien, die Implementierung veränderlicher Einflussbeziehungen in der Einflussmatrix, die kontinuierliche Verbesserung der Szenarien mittels Wissensmanagement sowie die

(Teil-)Automatisierung der Szenario-Bildung. In diesem Beitrag wird ein neuartiges Vorgehensmodell für die strategische Planung innovativer Dienstleistungen im Katastrophenschutz vorgestellt. Das Vorgehensmodell ist eng mit dem im nächsten Abschnitt beschriebenen Datenmodell verknüpft. Das Vorgehensmodell ermöglicht eine Anwendung der Szenario-Technik durch in diesem Themenfeld unerfahrene (kleine) Unternehmen und Start-Ups. Damit wird das Ziel verfolgt, diese dabei zu unterstützen die Marktperspektiven für innovative Dienstleistungen im Katastrophenschutz zu entwickeln und zu bewerten. Hierdurch soll der Selbstschutz von Personen und Unternehmen auch über die Richtlinien des Katastrophenschutzes hinaus erhöht werden. Die Anwendbarkeit des agilen Vorgehensmodelles ist bereits in anderen Anwendungskontexten gezeigt. Dazu zählen die Strategische Planung in KMUs [GPS17] sowie die Bewertung der Risiken von Anforderungsänderungen in der Produktentwicklung [GS16]. Das Vorgehensmodell baut auf den konsistenzbasierten Ansätzen der Szenario-Technik auf. Das strukturiertere Vorgehen dieser Schule der Szenario-Technik ist für den Anwendungsfall methodisch unerfahrener Anwender im Katastrophenschutz am besten geeignet, da ein strukturiertes Vorgehen als Rahmen (im Gegensatz zur intuitiven Logik) vorgegeben wird. Dieses geführte, kleinschrittige Vorgehen unterliegt im Gegensatz zu sogenannten Cross-Impact Ansätzen nicht der Problematik der Schätzung bedingter Wahrscheinlichkeitswerte [GS10], [GHS14].

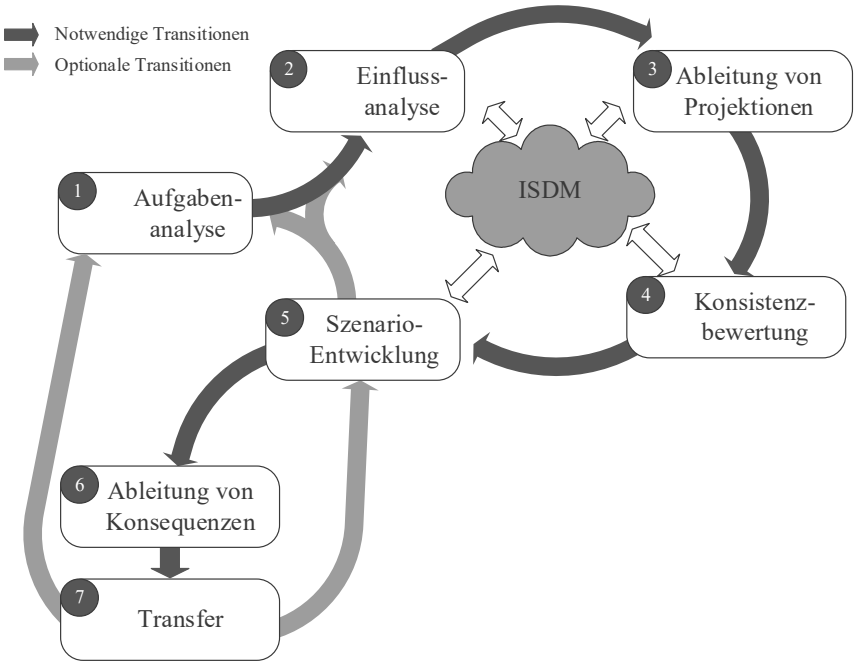


Abb. 1: Vorgehensmodell zur strategischen Planung [GPS17]

Das Vorgehensmodell (Abb. 1) besteht aus sieben Prozessschritten:

1. In der Aufgabenanalyse werden das Ziel und der zeitliche Betrachtungshorizont des Szenarios – hier bezogen auf die Perspektive für Katastrophenschutz-Anwendungen – festgelegt. Abhängig von dieser Auswahl werden Einflussfaktoren aus dem verknüpften Integrierten Szenario Datenmodell (ISDM) ausgewählt.

2. Generische Einflussfaktoren (z.B. zu Technologieentwicklung) werden durch den Nutzer um spezifische (z.B. zur Wahrscheinlichkeit von Naturkatastrophen) ergänzt. Wechselwirkungen zwischen Einflussfaktoren werden in einer Einflussmatrix bewertet, Schlüsseleinflussfaktoren analog zu [Rei92] in einem System-Grid bestimmt. In Erweiterung der bisherigen heuristischen Selektionsregeln (auf Basis von Aktiv-, Passivsumme sowie Impulsindex oder Dynamikindex) enthält das ISDM transparente Selektionsregeln, welche die Abhängigkeit von der Erfahrung des Anwenders reduzieren.

3. Im Folgenden werden für alle Schlüsselfaktoren Entwicklungsrichtungen („Projektionen“) abgeleitet. Diese sind für die generischen Einflussfaktoren im ISDM enthalten. Das ISDM verknüpft die Projektionen mit relevanten Daten aus statistischen Datenbanken (z.B. statistische Auswertungen der Europäischen Kommission zur gefühlten Sicherheit). Für die spezifischen Einflussfaktoren wird die Ableitung von Projektionen durch den Nutzer vorgenommen.

4. Zur Konsistenzbewertung werden die Projektionen in der Konsistenzmatrix paarweise bewertet. Aus dem ISDM und den damit verknüpften Datenbanken (siehe Abschnitt 4) sowie einer Verknüpfung mit neuronalen Netzen erfolgt eine (teil-) automatisierte Konsistenzbewertung.

5. In der Szenario-Entwicklung werden alle möglichen Projektionsbündel kombiniert. Durch die im ISDM hinterlegten Selektionsregeln erfolgt eine Reduktion der Anzahl an Projektionsbündeln. Durch anschließendes Clustering wird die Anzahl der Szenarien weiter reduziert.

6. Aufbauend auf den im vorherigen Prozessschritt entwickelten Szenarien werden in diesem Schritt Maßnahmen und Konsequenzen abgeleitet. Dieses schließt auch die Bewertung möglicher disruptiver Ereignisse (vgl. z.B. die politische Reaktion zum Atomausstieg nach dem Fukushima-Unglück) mit ein. Hierbei können die einmal getroffenen Annahmen über zur Selektion von Schlüsseleinflussfaktoren und deren Projektionen angepasst werden. Eine Anpassung kann dabei entweder exploratorisch oder reaktiv nach dem Auftreten eines disruptiven Ereignisses erfolgen.

7. Im letzten Schritt erfolgt ein Transfer der Ergebnisse. Neben der Ableitung von Risiken und Reaktionsstrategien sowie der Diskussion von möglichen disruptiven Ereignissen können hier die getroffenen Prämissen angepasst werden. Ziel und zeitlicher Horizont der Szenarien können angepasst werden. Hieraus ergeben sich unter Umständen Änderungen der Selektionsregeln in den Phasen 2 bis 5.

Im Vorgehensmodell werden notwendige und optionale Transitionen unterschieden (siehe Abb. 1). Die notwendigen Transitionen führen den Nutzer einmalig durch den vollständigen Prozess der Szenario-Bildung. Im Gegensatz zu den bisherigen sequentiellen Vorgehensmodellen (vgl. [Rei92] oder [Göt93]) ermöglicht das neue Vorgehensmodell auch optionale Transitionen. Hierdurch werden in späteren Phasen des Prozesses einmal getroffene Annahmen hinterfragt und angepasst. So können beispielsweise nach der Entwicklung der Szenarien diese durch das Hinzufügen und Weglassen von Einflussfaktoren in der zweiten Phase auf Sensitivität gegenüber diesen geprüft werden. Damit wird die Intuitivität und Akzeptanz der resultierenden Szenarien gefördert. Anwender werden weiterhin befähigt die Zusammenhänge zwischen den Einflussfaktoren und den resultierenden Zukunftszuständen zu erfassen und ein Gespür für die Auswirkungen von abweichenden Entwicklungen zu erhalten.

Um diese Intuitivität der Szenarien für den Anwender zu erreichen, müssen sich Veränderungen an den Szenarien aufwandsminimal vornehmen lassen. Insbesondere darf beispielsweise das Hinzufügen oder Weglassen von Einflussfaktoren nicht einen komplett neuen Prozessdurchlauf notwendig machen. Dieses wird durch die Kombination des Vorgehensmodells mit dem ISDM ermöglicht, welches im folgenden Abschnitt beschreiben wird.

4 Integriertes Szenario Daten Modell

Die Anwendung des Prozessmodells muss durch eine adäquate Einbindung von Datenquellen unterstützt werden. Dabei ist die Integration domänenspezifischer Modelle aus dem Katastrophenschutz sowie der Forschung zu Katastrophenursachen essentiell. Dabei soll die Anwendung auf unteren, operativen Unternehmensebenen ebenso erleichtert werden wie eine höhere Frequenz der Durchführung, z.B. ereignisbezogen nach Auftreten bestimmter Schadenereignisse (z.B. auf Grund der Annahme, dass Dienste zur Vorbereitung auf Hochwasserereignisse durch entsprechend Medienpräsenz aktueller Ereignisse erhöht wird). Daraus resultieren Anforderungen hinsichtlich a) der intuitiven, gebrauchstauglichen Anwendung durch alle relevanten Akteure, b) der einfachen, aufwandsarmen Möglichkeiten für den Rückgriff auf frühere Durchläufe der Szenario-Technik sowie c) der einfachen, aufwandsarmen und transparenten Integration existierender Datenbestände hinsichtlich Einflussfaktoren und zugehöriger Projektionen.

Das Integrierte Szenario-Datenmodell soll die erforderlichen Daten repräsentieren und die anwendungsgetriebenen Anforderungen erfüllen. Darüber hinaus sollen zukünftige Entwicklungen im Bereich des Datenmanagements eingebunden werden können. Die Struktur des ISDM folgt der Idee von Wissensbasen, die durch die Verbindung von Daten- und Metadaten-Schicht generiert werden (siehe Abb. 2). Während die Datenebene in bisherigen Szenario-Technik-Werkzeugen (vgl. Abschnitt 2.2) teilweise bereits umgesetzt ist, erlaubt die semantische Metadatenebene weitergehende Schlüsse im Sinne der genannten Anforderungen. Auf Grund der Natur der Szenario-Technik, zukünftige

Entwicklungen abzuschätzen, muss eine unsichere Datenqualität angenommen werden, die explizit modelliert wird (zu Datenqualitätsattributen siehe [WaSt-2015]; vgl. ISO 8000). Diese Modellierung ermöglicht die Verbesserung der Schlussfolgerung, die Interpretation bezüglich gestellter Suchanfragen sowie die Aufbereitung und Visualisierung für Benutzer.

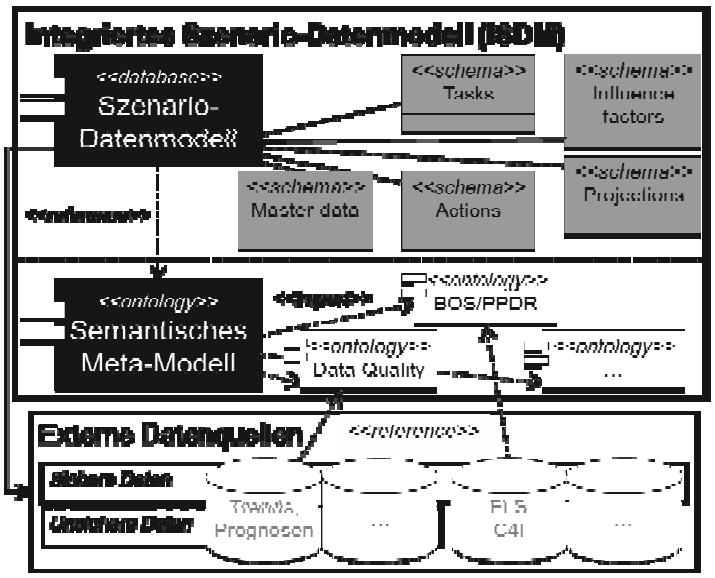


Abb. 2: Grundstruktur des ISDM (auf der Grundlage von [GPS17])

4.1 Relationales Szenario-Datenmodell

Das Szenario-Datenmodell ist setzt die Anforderungen zur Abbildung von im Rahmen der Szenario-Technik generierten Daten und ihrer Historie bzw. Rückverfolgbarkeit um. Es dient der Dokumentation und Speicherung von Szenario-Technik-Projekten über alle Prozessschritte und Schnittstellen: Schnittstellen repräsentieren den Übergang zwischen Prozessschritten (z.B. von Einflussfaktoren über Deskriptoren, ihre Projektionen hin zu formulierten Szenarien) oder die Anbindung externer Ressourcen (z.B. Trendanalysen der Europäischen Kommission zur Wahrnehmung von Gefahren durch Bürger in Europa). Aufbauende Anforderungen sind die Unterstützung kurzer, iterativer Zyklen sowie die Option für Sensitivitätsanalysen bei Änderung von Einflussparametern. Das Modell bezieht Anforderungen einzelner Prozessschritte (z.B. Korrelationsmatrizen) und des Gesamtprozesses (z.B. Einbeziehen von historischen Szenarien) ein. Die Hauptkategorien des Modells sind (für Details siehe [GPS17]):

- Master data: Referenzen auf Projekt, Projektmanagement, Anwender, Historie, Datenquellen mit Zugriffsoptionen, Verfügbarkeit und Qualität

- Tasks: Use Cases, Prozesse im Katastrophenschutz, rechtliche Rahmenbedingungen, Bezug zu BOS, u.U. Bezug zu IT-Systemen (z.B. Leitstellen)

- Influence Factors: Beschreibung, Kategorisierung, potenzielle Auswirkungen, Tendenzen (z.B. positiv/negativ), Bezug zu abgeleiteten Deskriptoren, cross-impact-Analyseergebnisse (vgl. [ADJ13]: 2x2-Matrix, Wilson-Matrix, morphologische Analyse, cross impact-Analyse und Konsistenzanalyse)

- Projections: Trends, Projektionen für Einflussfaktoren, Szenarien; Modellierung von Unsicherheiten (siehe [PL05], [Dun08], [AP06]) und Validierungskriterien (vgl. [ADJ13]: Plausibilität, Konsistenz/Kohärenz, Kreativität/Neuheit, Relevanz, Bedeutsamkeit, Transparenz und Vollständigkeit/Korrektheit)

- Actions: abgeleitete Aktivitäten, Strategien, Kontrollsysteme und Definition von Iterationen weiterer Durchläufe der Szenario-Technik

Eine Querschnittsanforderung ist die Rückverfolgbarkeit und damit Konsistenz der Daten zu einem Durchlauf der Szenario-Technik. Dies ermöglicht die Analyse von Auswirkungen bei Änderungen in der allgemeinen Sicherheitslage, der Struktur und Ausstattung von BOS, infrastrukturellen Rahmenbedingungen, Gesetzgebung oder im Kontext der unternehmerischen Gestaltung von Diensten für den Selbstschutz. Die Umsetzung muss auf der Grundlage des Szenario-Datenmodells in der Anwendungsschicht erfolgen.

4.2 Semantisches Meta-Modell

Kern des beschriebenen Ansatzes ist die Erhöhung der Flexibilität in der Anwendung der Szenario-Technik sowie der Integration existierender Daten. Der Zugriff auf interne und externe Ressourcen beschreibt daher einen zweiten Bereich funktionaler Anforderungen an das ISDM: Die Herausforderung in der Durchführung der Szenario-Technik besteht bisher vor allem in der Identifikation von Experten sowie dem Sammeln und Bewerten von Informationen. Die Anbindung von Datenbanken erfordert eine Anwendungsschicht, die die Definition von Suchbegriffen, die Selektion relativen Datenquellen, den maschinellen Zugriff sowie die Auszeichnung von Suchergebnissen unterstützt (z.B. im Sinne eines Rückgriffs auf Einflussfaktoren und ihre Bewertung in vorausgegangenen Projekten). Die Einbindung von Ressourcen über das Web ermöglicht eine Steigerung der Aktualität der Eingangsdaten.

Das automatische Schlussfolgern auf der Grundlage von Szenariodaten (siehe Abschnitt 4.1) und relevanten Datenquellen erfordert semantische Interpretationen. Grundlage ist die konzeptuelle Abbildung der Szenario-Technik in einem semantischen Modell. Abb. 3 zeigt einen Ausschnitt der Konzepte dieses Modells sowie beispielhaft die Einbindung von einzelnen Einflussfaktoren in das Gesamtmodell. Die Integration kann über domänenspezifische Suche und Qualifizierung als Einflussfaktor oder über den Rückgriff auf bereits modellierte Aspekte erfolgen. BOS-, Technologie-, Gesellschafts- und Wirtschaftsdomänen sind konzeptuell mittels OWL repräsentiert und werden

projektspezifisch erweitert. Dabei werden einzelne Konzepte ergänzt oder bestehende Ontologien mittels Ontology Mapping integriert. Aufbauend auf den in Abschnitt 4.1 genannten Möglichkeiten bestehen zwei Optionen zum Aufbau der Wissensbasis: a) die integrierte Umsetzung mittels RDF triple stores für beide Schichten und b) eine Verbindung zwischen Ontologie-Technologien und relationalen Datenbanken (z.B. Ontology based Database Access/ODBA [Bag14] oder RDB2RDF mapping[2]).

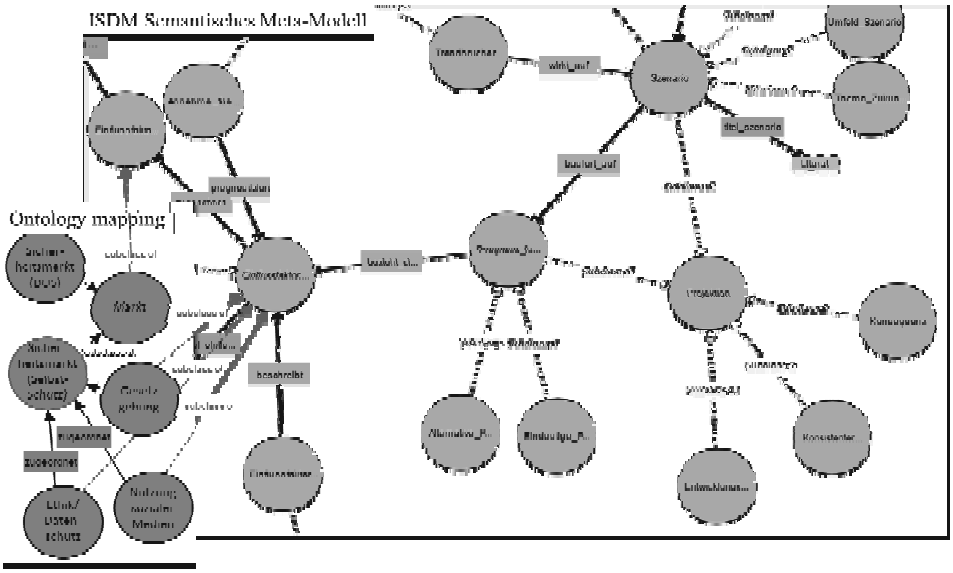


Abb. 3: Modellierung und semantische Einbindung von Einflussfaktoren

Das Mapping muss teilweise durch den Menschen erfolgen, so dass die Visualisierung und Funktionen zur Modellierung erforderlich sind. Hier wird die Visual Notation for OWL Ontologies (VOWL) verwendet; das Projekt schlägt sowohl eine graphische Visualisierungssprache für Ontologien vor als auch die Implementierung in einem entsprechenden Browser [s.o.], der auch als Plugin für das häufig genutzte Autorenwerkzeug Protégè verfügbar ist. Protégè selbst stellt alle erforderlichen Funktionen zur eigentlichen Modellierung bereit, ist jedoch für die Anwendung durch IT-Experten ausgelegt und deshalb alleinstehend für die Anwendung in der strategische Planung nur bedingt geeignet. VOWL vereinfacht die Interaktion mit dem Modell sowohl in der Modellierung als auch im lesenden Zugriff (z.B. zur Unterstützung der Auswahl von Einflussfaktoren und Verständnis des semantischen Zusammenhangs zwischen Faktoren). Die Visualisierungssprache weist OWL-Elementen graphische Repräsentations-Artefakte zu, so dass diesbezüglich die Technologie austauschbar ist und an individuelle Anforderungen angepasst werden kann.

[2] Vgl. D2RQ Platform, see URL http://d2rq.org/

Einfluss-bereich	Nr.	Einflussfaktor	Anzahl Projektionen	Quelle
Gesellschaft	1	Tatsächliche Bedrohung durch Extremwetterereignisse	3	Datenbank (MunichRE)
	2	Angst vor Naturkatastrophen	3	Datenbank (statista)
	3	Bedenken bzgl. des Klimawandels	3	Datenbank (statista)
	4	Familienstand	3	Datenbank (statista)
Kunden	5	Bereitschaft zum Download	2	Datenbank (statista)
	6	Zahlungsbereitschaft für Apps auf Plattformen (App Stores)	3	Datenbank (statista)
	7	Verbreitung herkömmlicher Nachrichtenkanäle im Fall der Warnung	3	Datenbank (BBK)
	8	Akzeptanz und Vertrauen der Kunden in neuartige Nachrichtenkanäle zur Warnung	3	Datenbank (BBK)
	9	Ansehen der Applikation als Nachrichtenkanal im Falle der Warnung	3	Eigene Recherche
Technologie	10	Internetfähiges Endgerät	2	Datenbank (statista)
	11	Ausfallrisiko von mobilem Netz	2	Datenbank (statista)
Wettbewerb	12	Anzahl der potentiellen Konkurrenten	3	Interne Marktanalyse
	13	Marktanteil der Konkurrenz	2	Interne Marktanalyse
	14	Aktualität der Informationen und Geschwindigkeit der Informationsverbreitung	3	Datenbank (statista)
Katastrophen-schutz	15	Handlungsempfehlungen vorhanden	3	Eigene Recherche
	16	Hilfestellung bzgl. Handlungsempfehlungen, Kommunikation	3	Eigene Recherche

Tab. 1: Einflussfaktoren für innovativer Dienstleistungen zur Erhöhung von Selbstschutz

5 Anwendungsfall „Innovative Dienstleistungen zur Erhöhung des Selbstschutzes in/für Katastrophenlagen“

Die Anwendung des Vorgehens- und des Datenmodells erfolgt für die Entwicklung innovativer Dienstleistungen zur Erhöhung von Selbstschutz. Im Rahmen des EU-Projektes ANYWHERE werden innovative Dienstleistungen auf Basis der Prognose von Extremwetterereignissen und Forecasting-Algorithmen für Risiken entwickelt. Um potenzielle Anwender der ANYWHERE-Komponenten zu unterstützen, kommt das entsprechende Vorgehensmodell in Kombination mit dem Datenmodell zum Einsatz. Dazu wurden mittels qualitativer Literaturrecherche und reflektierenden Interviews mögliche Einflussfaktoren ermittelt. Einflussfaktoren für den Markt innovativer Dienstleistungen in Form mobiler Anwendungen sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Pro Einflussfaktor wurden verschiedene Projektionen diskursiv abgeleitet. Diese sind wie auch die Beschreibungen der Einflussfaktoren und die Beschreibungen der Projektionen im ISDM abgelegt. Für den Einflussfaktor 1 sind die 3 Projektionen 1A: („Die Anzahl der Extremwetterereignisse weltweit sinkt von aktuell 820 Pro Jahr auf durchschnittlich 720.“), 1B („Die Anzahl der Extremwetterereignisse weltweit bleibt konstant bei ~820 Ereignissen pro Jahr“) und 1C („Die Anzahl der Extremwetterereignisse weltweit steigt von aktuell 820 pro Jahr auf einen Wert größer 900.“). Die Anwender werden in einem dazugehörigen Softwarewerkzeug befähigt, Einflussfaktoren sowie zugehörige Projektionen einfach ihren angepassten Szenarien hinzuzufügen. Neben der Verknüpfung mit Datenbanken als Ausgangsbasis sind im ISDM generische Einfluss- und Konsistenzmatrizen hinterlegt. Diese senken den Aufwand für den Anwender in den Schritten 2, 3 und 4 des Vorgehensmodells.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Die Entwicklung von Diensten zur Unterstützung des Selbstschutzes in Katastrophenlagen muss im Rahmen der strategischen Planung durch eine Risiko-Abschätzung und eine Bewertung des wirtschaftlichen Potenzials abgesichert werden. Die Szenario-Technik ist eine Methode, die in unterschiedlichen Branchen etabliert ist, um zukünftige Tendenzen in der Entwicklung unterschiedlicher Einflussfaktoren abzuschätzen und konsistente Szenarien abzuleiten. Diese können als Entscheidungsunterstützung herangezogen werden. Entgegen bisheriger Konzepte, die seltene Anwendung und Unterstützung durch Beratungsdienstleister vorsehen, sollte ein Szenario-Technik-Werkzeug datengestützt aufgesetzt werden. Semantische Technologien erlauben teilautomatisierte Schlussfolgerungen und die Integration existierender Datenbestände. Die Anwendung im spezifischen Kontext des Katastrophenschutzes erfordert insbesondere a) die Einbindung domänenspezifische Datenquellen und b) die Definition und Bewertung generischer Einflussfaktoren. Der Beitrag erläutert dies am Beispiel von Anwendung zur Vorbereitung und zur Reaktion auf Extremwetterereignisse. Zukünftige Erweiterungen des integrierten Prozess- und Datenmodells umfassen die Einbindung von

Crowd-Sourcing-Ansätzen, die Umsetzung der Open Linked Data- Integration, die Nutzung neuronaler Netze zur Konsistenzbewertung und die Prüfung selbstlernender Verfahren zur Identifikation von domänenübergreifenden Relationen. Die geplante Forschung wird zudem den Transfer und die Interaktion zwischen Szenariotechnik-Modell und der Gestaltung und Pflege von Geschäftsmodellen vertiefen.

Literaturverzeichnis

[AGM] Arcade, J. et al.: Structural analysis with the MICMAC method & Actors' strategy with the MACTOR method: Futures Research Methodology: American Council for the United Nations University: The Millennium Project, 1999; S. 1–69.

[BWB05] Bradfield, R. et al.: The origins and evolution of scenario techniques in long range business planning. In Futures, 2005, 37; S. 795–812.

[Dön09] Dönitz, E. J.: Effizientere Szenariotechnik durch teilautomatische Generierung von Konsistenzmatrizen. Empirie, Konzeption, Fuzzy- und Neuro-Fuzzy-Ansätze. Gabler Verlag, Wiesbaden, 2009.

[GFS96] Gausemeier, J.; Fink, A.; Schlake, O.: Szenario-Management. Planen und Führen mit Szenarien. Hanser, München, Wien, 1996.

[GH68] Gordon, T. J.; Hayward, H.: Initial experiments with the cross impact matrix method of forecasting. In Futures, 1968, 1; S. 100–116.

[GHS14] Grienitz, V.; Hausicke, M.; Schmidt, A.-M.: Scenario development without probabilities — focusing on the most important scenario. In European Journal of Futures Research, 2014, 2.

[Göt93] Götze, U.: Szenario-Technik in der strategischen Unternehmensplanung. Dt. Univ.-Verl. [u.a.], Wiesbaden, 1993.

[GPS17] Gräßler, I.; Pottebaum, J.; Scholle, P.: Integrated Process and Data Model for Agile Strategic Planning. In (Vajna, S. Hrsg.): 11th International Workshop on Integrated Design Engineering, 2017.

[GS09] Grienitz, V.; Schmidt, A.-M.: Weiterentwicklung der Konsistenzanalyse auf Basis evolutionärer Strategien für die Entwicklung von Markt- und Umfeldszenarien. In (Gausemeier, J. Hrsg.): Vorausschau und Technologieplanung. HNI, Paderborn, 2009; S. 409–433.

[GS10] Grienitz, V.; Schmidt, A.-M.: Scenariobased Complexity Management by adapting the Methods of Social Network Analysis. In (Zinn, C. D.; Ferrer, J. Hrsg.): Proceedings of the International Multi-Conference on Complexity, Informatics and Cybernetics: IMCIC, 2010; S. 61–66.

[GS16] Gräßler, I.; Scholle, P.: Szenario-basierte Analyse von Anforderungen im

Produktentwicklungsprozess. In (Krause, D.; Paetzold, K.; Wartzack, S. Hrsg.): Design for X. 27. DfX-Symposium, 2016; S. 231–242.

[Hof00] Hofmeister, P.: Evolutionäre Szenarien. Dynamische Konstruktion alternativer Zukunftsbilder mit unscharfen Regelbasen. Kovac, Hamburg, 2000.

[LF10] Linss, V.; Fried, A.: The ADVIAN® classification — A new classification approach for the rating of impact factors. In Technological Forecasting and Social Change, 2010, 77; S. 110–119.

[Mey92] Meyer-Schönherr, M.: Szenario-Technik als Instrument der strategischen Planung. Verl. Wiss. und Praxis, Ludwigsburg u.a., 1992.

[Mie09] Mietzner, D.: Strategische Vorausschau und Szenarioanalysen. Methodenevaluation und neue Ansätze. Gabler, Wiesbaden, 2009.

[Mie10] Mietzner, D.: New Market Intelligence. Springer, Wiesbaden, 2010.

[Mil03] Millett, S. M.: The future of scenarios. Challenges and opportunities. In Strategy & Leadership, 2003, 31; S. 16–24.

[Miß01] Mißler-Behr, M.: Fuzzybasierte Controllinginstrumente. Entwicklung von unscharfen Ansätzen. Dt. Univ.-Verl. [u.a.], Wiesbaden, 2001.

[MR05] Mietzner, D.; Reger, G.: Advantages and Disadvantages of Scenario Approaches for Strategic Foresight. In Int. J. Technology Intelligence and Planning, 2005, 1; S. 220–239.

[NWW85] Nitzsch, R. von; Weber, M.; Wietheger, D.: KONMACA - Ein Programmsystem zur Unterstützung der Szenarioanalyse. In Arbeitsberichte des Instituts für Wirtschaftswissenschaften, 1985; S. 1–56.

[Pau96] Paul, M.: Szenariobasiertes Konzipieren neuer Produkte des Maschinenbaus auf Grundlage möglicher zukünftiger Technologieentwicklungen. HNI, Paderborn, 1996.

[PMK13] Pottebaum, J.; Marterer, R.; Koch, R.: IT-gestützte Ausbildung von Feuerwehr-Führungskräften und -stäben. Zwischen virtueller Lage und realer Erfahrung. In (Heimann, R.; Strohschneider, S.; Schaub, H. Hrsg.): Entscheiden in kritischen Situationen. Neue Perspektiven und Erkenntnisse. Verl. für Polizeiwiss, Frankfurt am Main, 2013; S. 207–224.

[Rei92] Reibnitz, U. v.: Szenario-Technik. Instrumente für die unternehmerische und persönliche Erfolgsplanung. Gabler, Wiesbaden, 1992.

[Sut98] Sutcliffe, A.: Scenario-based requirements analysis. In Requirements Engineering, 1998, 3; S. 48–65.

[Tap13] Tapinos, E.: Scenario planning at business unit level. In Futures, 2013, 47; S. 17–27.

FDM2017 – Digitale Prozesse und Informationssysteme im Forschungsdatenmanagement

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 1355

Workshop Digitale Prozesse und Informationssysteme im Forschungsdatenmanagement (FDM2017)

Workshop on Digital Processes and Information Systems in Research Data Management

Toralf Kirsten[1], Thomas Riechert[2], Leander Seige[3]

1 Zusammenfassung

Der Workshop FDM2017 im Rahmen der INFORMATIK 2017 thematisiert die Einbeziehung verfügbarer heterogener Datenbanken und Linked Open Data Daten in aktuellen Forschungsfragestellungen. Während in naturwissenschaftlichen Wissenschaftsfeldern bereits etablierte Datenmanagementstrukturen in spezialisierten Forschungsgebieten etabliert sind, werden diese Methoden zunehmend auch für Forschungsfragen in den Geistes- und Sozialwissenschaften interessant. Die relevanten Forschungsprozesse und die diese unterstützenden Informationssysteme sind gegenwärtig aktueller Forschungsgegenstand. Insbesondere stehen hier Fragestellungen zum Datenschutz, Urheberschutz, Datenkuration und Archivierung seitens des Prozessmanagements, sowie Virtualisierung, Verfügbarkeit, die Bereitstellung von Dienstleistungen und die Anforderungsanalyse im Forschungsprozess seitens der Informationssysteme im Vordergrund. In diesem Kontext adressiert der Workshop gleichermaßen Daten-, Knowledge-, Software- Engineers, sowie Anwender in den IT-Abteilungen von Forschungseinrichtungen, Bibliotheken, Archiven, Informationslieferanten und weitere interessierte Anwender. Die Workshopsprachen sind deutsch und englisch. Der Workshop findet parallel mit dem Workshop on Linked Enterprise Data Services, Provenance, Linking and Quality statt.

2 Abstract

The FDM2017 workshop within the multi-conference INFORMATIK 2017 addresses the inclusion of available heterogeneous databases and linked open data to current research questions. While data management structures have been already recognized as a new research

[1] LIFE Research Center for Civilization Diseases, Univ. Leipzig, Philipp-Rosenthal-Str. 27, 04103 Leipzig, tkirsten@izbi.uni-leipzig.de
[2] HTWK Leipzig, Fakultät Informatik, Mathematik und Naturwissenschaften, Gustav-Freytag-Str. 42A, 04277 Leipzig, thomas.riechert@htwk-leipzig.de
[3] Beethovenstraße 6, 04107 Leipzig, seige@ub.uni-leipzig.de

doi:10.18420/in2017_135

area, these methods are becoming increasingly attractive for answering research questions in the humanities and social sciences. The relevant research processes and the related information systems for supporting such operations are subject to this call. In particular, questions on data and copyright protection, data collection and archiving on the part of process management, as well as virtualization, availability, the provision of services and the requirements analysis in the research process on the part of the information systems are of primary interest. In this context, the workshop addresses data, knowledge, and software engineers as well as operators for IT departments of research facilities, libraries, archives, and information suppliers. The FDM2017 workshop will accept original work written in German or English. It will be co-located with the workshop on Linked Enterprise Data Services, Provenance, Linking, and Quality (LEDSPLaY 2017).

Program Chair FDM 2017

- Toralf Kirsten, Leipzig Research Centre for Civilization Diseases
- Thomas Riechert, Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig
- Leander Seige, Universitätsbibliothek Leipzig

Program Committee FDM 2017

- Francesco Beretta, Laboratoire de Recherche Historique Rhône-Alpes, Lyon
- Hartmut Beyer, Herzog August Bibliothek Wolfenbüttel
- Romy Elze, Institut für Angewandte Informatik e.V., Leipzig
- Anika Groß, Universität Leipzig
- Torsten Leddig, Universität Greifswald
- Thomas Kudraß, Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig
- Stefan Kühne, Universitätsrechenzentrum Leipzig

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 1357

Entwicklung eines Datenmodells für ein umfassendes Forschungsdatenmanagement zur flexiblen Analyse longitudinaler Daten

Jan-Patrick Weiß[1], Jens Rauch[2], Jens Hüsers[3], Jan-David Liebe[4], Frank Teuteberg[5] und Ursula Hübner[6]

Abstract: Forschungsdatenbanken dienen als gemeinsame Datenbasis für heterogene Datensätze unterschiedlicher Wissenschaftler, um neue Forschungsansätze, Ideen oder Fragestellungen im Forschungsprozess zu identifizieren und zu analysieren. Klassische Datenmodellierungs-Ansätze wie das dimensionale Modell oder das Entity-Attribute-Value (EAV) Modell erweisen sich entweder als unflexibel hinsichtlich neuer Anforderungen und der Erweiterung um neue Datenquellen oder erschweren longitudinale Analysen. In diesem Artikel wird ein grundlegendes Systemdesign für sich häufig ändernder Forschungsdaten vorgestellt und als erster Meilenstein die Implementation des Datenmodells fokussiert. Das EAV-Modell wurde hierzu um das Data-Vault-Modell erweitert. Dieser kombinierte Ansatz ermöglicht die Historisierung beliebiger Merkmalsausprägungen und die Erweiterung um neue Merkmale aus weiteren Datenquellen.

Keywords: Datenmanagement, Datenmodell, longitudinale Daten, Forschungsdatenbank, Data-Vault-Modell

1 Einleitung

Häufig werden in Forschungsprojekten heterogene Daten gesammelt oder erstmalig erzeugt [Po15], [Th14]. Durch eine gemeinsame Datenbasis für unterschiedliche Wissenschaftler können darüber neue Forschungsansätze, Ideen oder Fragestellungen im Rahmen des Forschungsprozesses identifiziert [He09] und analysiert werden. Das Forschungsdatenmanagement sichert somit den langfristigen Austausch von Informationen für zukünftige Forschungsfragen [Me12]. Im Gesundheitswesen hat sich in den letzten Jahren das

[1] Hochschule Osnabrück, Informatik im Gesundheitswesen, Postfach 19 40, 49009 Osnabrück, j.p.weiss@hs-osnabrueck.de
[2] Hochschule Osnabrück, Informatik im Gesundheitswesen, Postfach 19 40, 49009 Osnabrück, j.rauch@hs-osnabrueck.de
[3] Hochschule Osnabrück, Informatik im Gesundheitswesen, Postfach 19 40, 49009 Osnabrück, j.huesers@hs-osnabrueck.de
[4] Hochschule Osnabrück, Informatik im Gesundheitswesen, Postfach 19 40, 49009 Osnabrück, j.liebe@hs-osnabrueck.de
[5] Universität Osnabrück, Unternehmensrechnung und Wirtschaftsinformatik, Katharinenstr. 1, 49069 Osnabrück, frank.teuteberg@uni-osnabrueck.de
[6] Hochschule Osnabrück, Informatik im Gesundheitswesen, Postfach 19 40, 49009 Osnabrück, u.huebner@hs-osnabrueck.de

doi:10.18420/in2017_136

Konzept des „lernenden Gesundheitssystems“ entwickelt, das die Nutzung von Routinedaten für die Forschung vorsieht [OAM07] und diese bei Bedarf mit Forschungsdaten verknüpft. Dabei soll über eine zentrale oder vernetzte Plattform ein Informationsaustausch zwischen Forschung und Praxis gefördert werden, sodass beispielsweise Sekundärdaten weiteren Anwendungsfällen zugeführt werden und das erarbeitete Wissen unter den unterschiedlichen Stakeholdern geteilt wird [FWB10]. Die verteilten, unterschiedlichen, internen und externen Datenquellen führen jedoch zu informationstechnologischen Barrieren [LBK07]. Für einen effektiven und effizienten Informationsaustausch, müssen im Prozess des Forschungsdatenmanagements die Datenbestände integriert sowie konsistent und strukturiert persistiert werden.

Die Forschungsprojekte ROSE und INITIATIVE eHealth an der Hochschule Osnabrück sind Beispiele in denen Daten unterschiedlicher Teilprojekte gesammelt und in einer gemeinsame Forschungsdatenbank zusammengeführt werden sollen, um ein lernendes Gesundheitssystems in der Region Osnabrück zu realisieren [Hü16]. Dazu werden Primärdaten in unterschiedlicher Form erhoben (schriftliche Befragungen, Interviews) und mit Sekundärdaten (z. B. Qualitätsberichte der Krankenhäuser, demographische Daten der statistischen Ämter) zusammengeführt. Die Befragungsdaten werden je nach Teilprojekt einmalig oder in regelmäßigen Intervallen erfasst. Neue Forschungsideen führen dabei oft zu sich ändernden Items und damit zu sich ändernden Schnittstellen. Dennoch sollen die Schnittmengen der in allen Erhebungen gleichen Daten abgebildet werden, d.h. es sollen longitudinale Analysen und Quellenzusammenführung bei gleichem Erhebungszeitpunkt möglich sein. Dies setzt voraus, dass die Daten nicht isoliert abgelegt, sondern in einer zentralen Forschungsdatenbank zusammengeführt werden. Diese soll als eine integrierte Plattform zur Verwaltung, Analyse und Präsentation von Forschungsdaten dienen und unter Nutzung von Open Source Komponenten entwickelt, implementiert und kontinuierlich verbessert werden.

Mit diesem Artikel wird das grundlegende Systemdesign gezeigt und die Implementation des Datenmodells als erster Meilenstein fokussiert. Zur Erhebung der Anforderungen wurden Interviews mit Anwendern aus den Forschungsgruppen der Teilprojekte durchgeführt. Ein zentrales Anwendungsgebiet ist dabei die seit 2002 bundesweit und in den letzten Jahren auch international durchgeführte Befragung zum Digitalisierungsgrad in Krankenhäusern [Fo02]. Der Digitalisierungsgrad von Krankenhäusern unterliegt einem inkrementellen Wachstum, was zu einem Bedarf an longitudinalen Studien führt [Bu11]. Außerdem führt der kontinuierliche technische Fortschritt zu sich mit der Zeit ändernden und neuen Befragungsitems [Ag10]. Um die Auswirkungen dieses innovativen Prozesses auf Krankenhäuser und deren Umwelt für Praktiker, Politik und Patienten sichtbar zu machen, müssen die Befragungsdaten um Sekundärdaten (z. B. Qualitätsberichte der Krankenhäuser) in den jeweiligen Analyse ergänzt werden [Am09]. Für das Datenmodell ist daher zentral, dass es einerseits robust gegenüber Datenarten aus unterschiedlichen Datenquellen ist und deshalb über ein hohes Maß an Erweiterbarkeit verfügt. Dazu müssen auch semantische Änderungen (z.B. Änderung des Fragetextes bei Befragungsdaten) nicht nur kompatibel mit dem Datenmodell sein, sondern auch nachvollziehbar abgebildet werden können. An-

dererseits soll das Datenmodell verschiedene analytische Sichten auf die integrierten Daten gestatten und daher keine Form der Auswertung, z. B. nach Dimensionen und Fakten, vorschreiben. Außerdem sollen externe Informationen wie beispielsweise Qualitätsdaten oder andere frei verfügbare Daten integriert werden.

Es konnten insgesamt sechs wesentliche Anforderungen konkretisiert werden: (1.) Das Datenmodell soll beliebige Befragungsdatensätze unterschiedlicher Quellformate integrieren, ohne die Datenstrukturen anpassen zu müssen. (2.) Neue Umfrageschnittstellen sollen an das System angeschlossen werden können, ohne die bestehende Struktur des Datenmodells ändern zu müssen. (3.) Das Datenmodell soll sowohl in Bezug auf das Hinzufügen weiterer Merkmale, als auch hinsichtlich vereinzelter Merkmalsausprägungen skalieren. (4.) Zeitlich gesehen sollen Quer- und Längsschnittanalysen möglich sein. Dazu ist es essentiell, identische Teilnehmer und Items aufeinander abzubilden und die Veränderung von Merkmalsausprägungen zu historisieren. (5.) Das Datenmodell soll um zusätzliche Datenquellen erweiterbar sein, die Items oder Teilnehmer beschreiben, ohne die bestehende Struktur des Datenmodells ändern zu müssen. (6.) Das Datenmodell soll sich um die Datenstrukturen zentrieren und auswertungsunabhängig sein. Es soll insbesondere keine Kausalitäten oder gerichtete Zusammenhänge zwischen Merkmalen implizieren, sondern sich auf die reinen Datenrelationen beschränken.

Die Anforderungen implizieren, dass das Datenmodell in generischer Weise Befragungsdaten beschreiben kann, aber auch erweiterbar bezüglich unvorhergesehener Spezifika von Befragungsdaten oder weiteren Datenquellen ist, wie sie etwa durch neue Erhebungsinstrumente oder Sekundärdaten hinzukommen können. Außerdem beinhalten die Anforderungen, dass Items wiederholter Erhebungen, als solche auch verknüpft werden und die Änderungen explizit abgefragt werden können. Umgekehrt sollen ebenfalls befragungsübergreifend sämtliche Ausprägungen von Items für ausgewählte Merkmalsträger zusammengeführt werden. Dieses führt zu den diesem Beitrag zugrundeliegenden Forschungsfragen:

- FF1: Welches Datenmodell eignet sich als konzeptuelle Grundlage für die Umsetzung der genannten Anforderungen?
- FF2: Wie kann am Beispiel mehrjähriger und unterschiedlich strukturierter Umfragedaten ein vereinheitlichtes Datenmanagement implementiert werden?

In Kapitel 2 wird zunächst ein Überblick über unterschiedliche Datenmodelle gegeben und welche Vor- und Nachteile diese jeweils bieten. Anschließend wird in Kapitel 3 das entwickelte Konzept für die Forschungsdatenbank erläutert. Schließlich werden in Kapitel 4 die konkreten Implementierungen vorgestellt und abschließend in Kapitel 5 zusammenfassend betrachtet.

2 Stand der Forschung

Data Warehouse Systeme sind Informationssysteme, die regelmäßig anfallende Daten aus verschiedenen Quellen integrieren und die Daten organisieren, so dass unterschiedlicher Zustände der Informationsobjekte abgebildet werden und zeitliche Veränderungen abgerufen werden können [In05]. Ein Data Warehouse System umfasst neben der persistenten Datenhaltung sowohl Datenschnittstellen zu Quell- und Zielsystemen als auch Software zur Datenintegration und Monitoring sowie graphische Benutzerschnittstellen zur Datenanalyse [Ba13]. Für den vorliegenden Beitrag wird das zugrundeliegende Datenmodell fokussiert.

Klassische Datenmodelle aus dem Bereich der Wirtschaftsinformatik für Data-Warehouse-Systeme sind normalisierte Relationale Modelle und die Dimensionale Modellierung (Sternschema) [Ba13]. In der Medizinischen und der Gesundheitsinformatik hat sich parallel zu den klassischen Datenmodellen das Entity-Attribute-Value-Datenmodell entwickelt [Lö12]. Ein weiterer Modellierungsansatz, der in den letzten Jahren vermehrt für unterschiedlichste Geschäftsanwendungen angewendet wurde, ist das Data-Vault-Modell (DV) [Ch10]. In normalisierten Modellen werden Informationsobjekte, Attribute und die strukturellen Beziehungen explizit abgebildet. In dimensionalen Modellen werden Daten hingegen als Ereignisse (Fakten) und ereignisbeschreibende Dimensionen abgebildet. Normalisierte Modelle sichern die Konsistenz und referentielle Integrität der Daten. Neue Datenquellen oder die Anpassung bestehender Daten führen jedoch zu aufwendigen strukturellen Änderungen [DN07]. Bei der dimensionalen Modellierung werden die Daten anforderungsgetrieben bereits für die Analyse als abhängige Variablen (Fakten) und unabhängige Variablen (Dimensionen) modelliert [KR13]. Dementsprechend führen neue Analyseanforderungen auch bei dimensionalen Modellen zu aufwendigen strukturellen Änderungen. Daten aus der Medizin und dem Gesundheitswesen stellen diese klassischen Datenmodelle häufig vor neue Herausforderungen, weil dort jedes Informationsobjekt viele Merkmale besitzt und fortlaufend neue hinzukommen können. EAV-Modelle spezifizieren Merkmale daher nicht in einem festgelegten strukturellen Schema, sondern zeilenweise auf Datensatzebene. Dadurch können heterogene Daten mit sich laufend ändernden Datenstrukturen persistiert werden. Dieses führt jedoch zu komplexen Abfragen [DN07]. Bei der DV-Modellierung werden Informationsobjekte, Attribute und Beziehungen voneinander getrennt modelliert. Dadurch können die Datenstrukturen bei neuen Analyseanforderungen erweitert und müssen nicht geändert werden [Bo16], [JSM14]. In der wissenschaftlichen Literatur wird die DV-Modellierung bislang wenig betrachtet.

Es gibt Ansätze die Datenmodelle miteinander zu kombinieren. Dazu wurde beispielsweise ein EAV-Modell in weiteren Architekturschichten eines Data Warehouses in ein (1) Sternschema überführt [Ya12] oder in eine (2) dimensionale Struktur eingebettet [WHM11], [Mu10]. In Ansatz (1) bleibt in der weiteren Architekturschicht das Problem der sich fortlaufend hinzukommender Merkmale und neuer struktureller Anforderungen bestehen. In Ansatz (2) werden EAV-Tabellen als Faktentabellen und Dimensionen als

Attributsdimensionen modelliert. Dadurch wird zwar die Erweiterbarkeit des EAV-Modells bewahrt, jedoch ist die strukturelle Anpassung der Dimensionstabellen weiterhin eingeschränkt. Bisher gibt es keinen Ansatz, EAV-Modelle mit DV-Modellen zu verknüpfen, um für ein besseres Strukturieren der Daten ohne Verlust der Flexibilität des EAV-Ansatzes zu sorgen.

3 Konzept

Klassische Datenmodelle können die oben angeführten Anforderungen (1.), (2.), (3.) und (6.) eines Data Warehouses nicht hinlänglich bedienen. In dieser Arbeit sollen daher alle eingangs aufgestellten Anforderungen durch die Kombination des EAV-Ansatzes mit dem DV-Modell umgesetzt werden (FF1).

Unser Systemdesign umfasst zunächst eine 5-Schichten-Architektur, bestehend aus je einer Schicht für die Datenerfassung, der Datenhaltung, die Datenverarbeitung und die Datenpräsentation. Diese sind über eine fünfte Schicht zur Datenintegration miteinander verbunden (vgl. Abb. 1). Die Datenerfassungsschicht beschreibt alle Instrumente, aus denen die relevanten Daten stammen. Die Datenhaltung wird durch ein Data Warehouse zur Datenkonsolidierung und Speicherung beschrieben und besteht aus drei weiteren Schichten: In der Quellschicht wird zunächst jede der von der Datenerfassungsschicht bereitgestellten Datenquellen als relationale Datenbanktabelle gespiegelt und zur weiteren Verarbeitung gespeichert. Die Primärdaten aus verschiedenen Umfragen und Sekundärdaten (z. B. Qualitätsberichte, Krankenhausverzeichnis, klinische Daten) werden in der Kernschicht in eine konsolidierte Form transformiert. Data Marts bieten in der Analyseschicht optimierte Ansichten mit automatisch aggregierten Daten für vordefinierte Analysen. Um komplexere Berechnungen durchzuführen, werden die Daten in weitere Werkzeuge der Datenverarbeitungsschicht geladen und relevante Ergebnisse in weiteren Data Marts gespeichert. Der Austausch der Daten erfolgt zentral über die Datenintegrationsschicht. In der Präsentationsschicht werden die Daten für standardisierte regelmäßige Berichte oder für weitere Untersuchungen angezeigt.

In diesem Artikel soll auf die Datenhaltung der Kernschicht fokussiert werden. Zur Repräsentation der Umfragedaten wird die Datenstruktur in die Informationsobjekte Merkmalsträger, Merkmal und Merkmalsausprägung unterteilt. Nach den eingangs spezifizierten Anforderungen sollen Merkmalsträger, neben den Umfragedaten, mit Daten aus weiteren Datenquellen (z.B. Krankenhausverzeichnis, Qualitätsberichte) verknüpft werden. Außerdem sollen Merkmale und Merkmalsausprägungen durch Metadaten näher beschrieben werden. Daher werden in diesem Konzept, im Gegensatz zum EAV-Schema, die Informationsobjekte nicht als Entität, Attribut und Wert, sondern jeweils als eigenständige Entitäten modelliert. Die Forschungsdaten werden somit in Entitäten für Merkmalsträger (z. B. Befragungsitems, Klinikstandorte), Gruppen von Merkmalen (z. B. thematische Itemblöcke, Diagnosesysteme) und Ausprägungen (z. B. Antwortoptionen, Fallzahlen) organisiert.

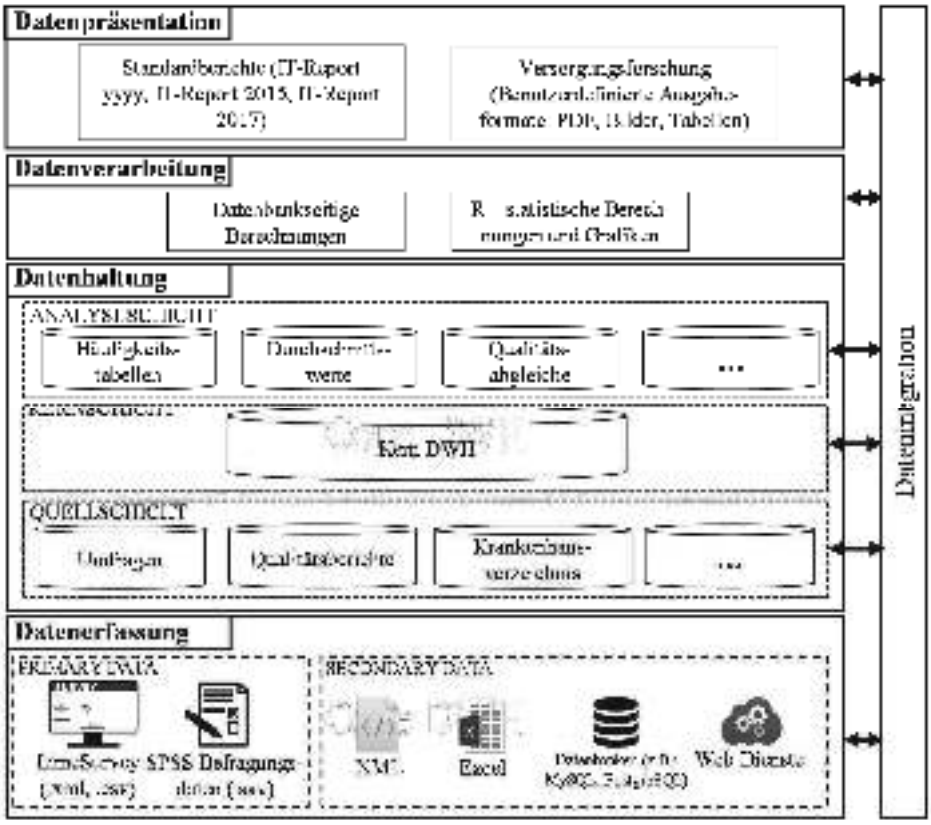


Abb. 1: 5-Schichten-Architektur - Systemdesign

Für jede Entität wird nach der DV-Modellierung eine *Hub*-Tabelle erstellt. Jeder *Hub* beinhaltet sowohl den natürlichen Schlüssel der Entität als auch einen generierten technischen Schlüssel [LO16]. Die technischen Schlüssel werden in *Link*-Tabellen als Referenz genutzt, um die *Hubs* bzw. Entitäten miteinander zu verknüpfen. Es ergibt sich also an Stelle der Entität-Attribut-Wert-Tabelle ein ternärer Link "Merkmalsträger-Merkmal-Ausprägung", der auf die entsprechenden Entitätsschlüssel verweist. Die unmittelbare Abhängigkeit zwischen Ausprägungen und Merkmalen, die sich beispielsweise aus der Beziehung zwischen Fragebogenitems und Antwortvorgaben ergibt, wird ebenfalls als *Link* "Merkmal-Ausprägung" modelliert. Das Datenschema bildet ab, welche Entitäten miteinander in Beziehung stehen. *Hubs* und *Links* sind nach der Data Vault-Spezifikation [LO16] zeitinvariant und beschreiben daher lediglich, welche Entitätsinstanzen in der Historie gemeinsam aufgetreten sind. In der DV-Modellierung werden alle zeitvarianten Daten (z.B. Entitätsattribute) innerhalb sogenannter *Satellites* modelliert. Die Historisierung der Datensätze erfolgt über Zeitstempel, wobei Datensätze weder überschrieben noch ge-

löscht werden. Die Teilnahme an Forschungsumfragen ist anonymisiert bzw. pseudonymisiert, sodass der natürliche Schlüssel eines Merkmalsträgers abhängig von der jeweiligen Befragungsrunde ist. Der Merkmalsträger ist daher als "Teilnahme" und nicht als "Teilnehmer" zu verstehen. Die longitudinale Verknüpfung von Teilnahmen zu Merkmalsträger, deren zeitlich variierende Ausprägungen analysiert werden sollen, erfolgt durch einen weiteren *Link* "Teilnahme-Merkmalsträger". Dadurch werden Teilnahmen mit den dazugehörigen Merkmalsträgern identifiziert. Auf den *Hub* "Merkmalsträger" kann nun mit beliebigen zusätzlichen Entitäten über *Links* und die *Links* beschreibenden *Satellites* referenziert werden. *Hubs* sind somit passive Kataloge, sodass das Schema für die Befragungsdaten nicht modifiziert werden muss.

4 Implementierung

Das Systemdesign wurde vollständig mit Open Source Komponenten umgesetzt. Das System selbst wurde auf einem Ubuntu Server 16.04 mit PostgreSQL 9.6 implementiert. Die Datenintegration zwischen den einzelnen Schichten wurde mit Pentaho Data Integration 7 implementiert. Die Statistiksoftware R 3.3.2 wurde für erste longitudinale Berechnungen und Visualisierungen mit ggplot2 2.2.1 eingesetzt [WC16]. Primärdaten wurden aus LimeSurvey 2.54.3 und aus archivierten Umfragedatensätzen der Statistiksoftware SPSS von IBM aus vorherigen Jahren extrahiert. Sekundärdaten wurden aus den Krankenhaus-Qualitätsberichten des Gemeinsamen Bundesausschuss (G-BA) und dem deutschen Krankenhausverzeichnis entnommen.

SPSS bietet drei Komponenten, mit denen sowohl die Fragebogenstruktur, als auch die Umfrageergebnisse abgebildet werden können: (1) Das Datenblatt, das die Umfrageergebnisse enthält, besteht aus dem Teilnehmer (Zeile), dem Item bzw. der Variable (Spalte) und der gewählten Antwortoptionen (Zelle). (2) Die Spezifikation der Items liefert die Item-Label, Skalenniveau und Formatierungsattribute. (3) Die Spezifikation der Itemausprägungen bezeichnet Label und Kodierungen. Diese drei Komponenten können als separate CSV-Dateien exportiert werden. Das Datenblatt (1) wird durch die Metadaten aus (2) und (3) näher beschrieben.

LimeSurvey bietet einen Export der Fragebogenstruktur und der Umfrageergebnisse. Das Datenblatt für die Umfrageergebnisse ist strukturell identisch mit dem SPSS-Datenblatt und wird als CSV-Datei exportiert. Die Fragebogenstruktur wird als XML-Dokument exportiert. In diesem sind Fragetexte in Kombination mit Antworttexten zu Items instanziiert, sodass keine 1:1 Beziehung zwischen Fragetext und Item besteht. Eine Multiple-Choice-Frage mit vier Antwortoptionen korrespondiert beispielsweise mit fünf Item-Spalten im LimeSurvey-Datenblatt. Daraus folgt, dass die exportierte Fragenbogenstruktur zunächst in die semantische Struktur von Merkmalsträger, Merkmal und Ausprägung transformiert werden musste, damit Metadaten für das LimeSurvey-Datenblatt extrahiert werden können.

Gemäß der Data-Vault-Spezifikation wurden *Hubs*, *Links* und *Satellites* eins-zu-eins als

relationale Tabellen erstellt (vgl. Abb. 2). Primär- und Fremdschlüssel-Beziehungen wurden als Constraints in PostgreSQL angelegt. Der MD5-Hashing-Algorithmus wurde eingesetzt, um auf Basis des natürlichen Schlüssels (z.B. Fragencode, Antwortoption, Qualitätskennziffer) den technischen Schlüssel der Entitäten zu erzeugen. Die Datensätze werden um die Attribute *load_dts* und *rcd_src* ergänzt, welche das Erhebungsdatum der Befragung zur Historisierung der unterschiedlichen Umfragen und den vollständigen Dateipfad der jeweiligen Quelldatei enthalten. Alle Fragen werden, unabhängig vom Quellsystem, im Hub *h_item* konsolidiert. Dieser Hub hat insgesamt drei *Satellites*. Der generische *Satellite s_item* enthält die Attribute, die für Merkmale universell sind. Zusätzlich gibt es für die beiden Quellsysteme SPSS und LimeSurvey je einen *Satellite*, der systemspezifische Merkmalsattribute erfasst. Als Beispiel für die Einbeziehung von Sekundärdaten, können die frei zugänglichen Qualitätsberichte (XML-Dateien) deutscher Krankenhäuser angeführt werden. Diese können mit demographischen Daten aus dem Krankenhausverzeichnis verknüpft werden. Wie bereits bei den Befragungsdaten wurden auch hier gemäß der Data Vault-Spezifikation *Hubs* für die Entitäten, *Links* für die Beziehungen und *Satellites* für zeitabhängige und deskriptive Attribute erstellt. Die zentrale Beziehung ergibt sich hier zwischen den Entitäten Klinikstandort, Auswertungseinheit, Leistungsbereich und Qualitätsindikator.

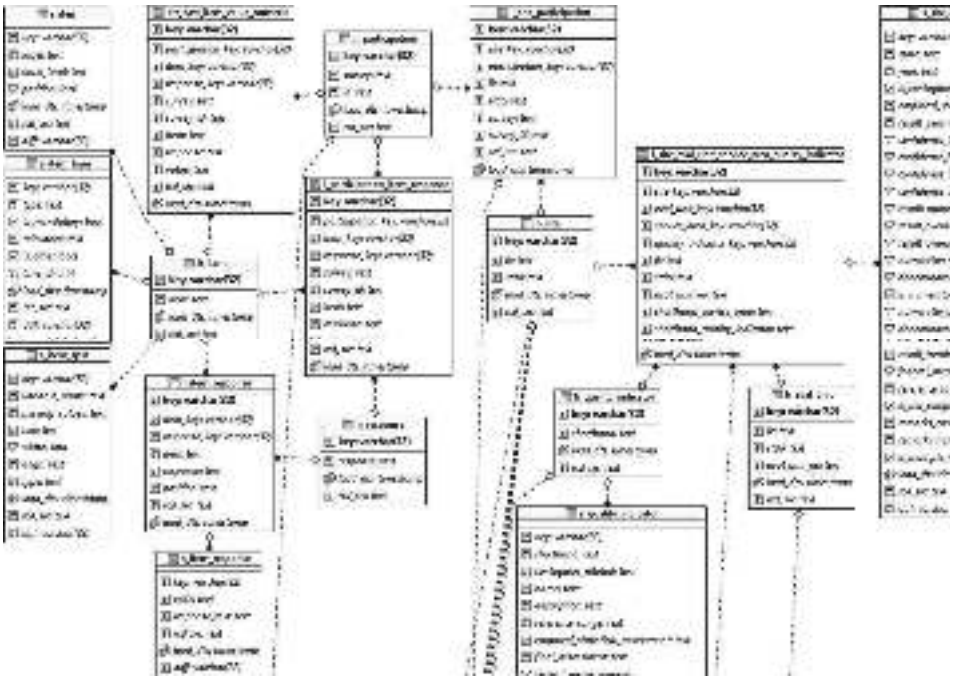


Abb. 2: Ausschnitt des Datenmodells zur Abbildung der Befragungsdaten und Qualitätsindikatoren

Das diesem Datenmodell zugrundeliegende Kern DWH (vgl. Abb. 1) enthält Daten von Befragungen aus den Jahren 2011, 2013, 2015 und 2017 (2011: 339 Teilnahmen mit 203

Items, 2013: 259 Teilnahmen mit 521 Items, 2017: 194 Teilnahmen mit 226 Items). Für die Qualitätsberichte der Jahre 2011 bis 2014 liegen insgesamt 733.000 Datenwerte für 381 Qualitätsindikatoren vor, verteilt auf insgesamt knapp 20.000 Auswertungseinheiten und 39 Leistungsbereiche.

5 Zusammenfassung, Fazit und Ausblick

Die Herausforderungen an unterschiedliche Datenmodelle für ein umfassendes Datenmanagement wurden in diesem Beitrag kritisch betrachtet. Die DV-Modellierung ist zwischen dem EAV-Ansatz und dem Sternschema einzuordnen. Dem EAV-Ansatz liegt ein generisches Datenmodell zugrunde, was jedoch zu komplexen Abfragen führt. Ferner ist das EAV-Modell sehr flexibel, kann jedoch keine semantischen Änderungen von Daten verfolgen. Sobald Attribute von Entitäten geändert werden müssen oder die Semantik von Attributen geändert wird, muss eine Erweiterung des EAV-Modells stattfinden. Das Sternschema hat hingegen festgelegte Dimensionen und Faktenwerte, wodurch Abfragen einfacher sind, jedoch die Analyseoptionen bereits festgelegt sind. Mit der DV-Modellierung steht es frei, beispielsweise die Qualitätsindikatoren als einen *Hub* zu modellieren oder unterschiedliche Qualitätsindikatoren über mehrerer *Hubs* abzubilden. Die DV-Modellierung ermöglicht umfassende Historisierungen der Datenänderungen, jedoch steigt mit der Flexibilität auch die Komplexität des Systems, sodass diese Designentscheidung konkret spezifiziert werden muss, um einem zu hohen Entwicklungsaufwand ohne zugrundeliegender Anforderungen entgegenzuwirken.

In diesem Beitrag wurde daher das EAV mit dem DV-Modell zum Persistieren semantisch heterogener Befragungsdaten (FF2) kombiniert. Das vorgestellte Modell liefert somit eine integrierte Sicht auf Datensätze unterschiedlicher Quellen, wie am Beispiel von SPSS- und LimeSurvey-Datensätzen gezeigt wurde und historisiert vollständig Befragungs- und Metadaten. Dadurch kann beispielsweise eine veränderte Semantik durch abweichende Wortlaute eines Items nachvollzogen werden und die Item-Gruppen, die sich in natürlicher Weise aus der Fragebogenstruktur aus LimeSurvey ergeben, für die zugeordneten SPSS-Items übernommen werden. Das Datenmodell kann durch neue Entitäten und Beziehungen erweitert werden. Neue Attribute oder Umfragesysteme werden durch zusätzliche *Satellites*, neue Teilnehmertypen durch neue *Links* zur zentralen Relation "Teilnahme-Merkmal-Ausprägung" implementiert.

Mit dem DV-Modell konnte der EAV-Ansatz, bestehend aus Entitäten, Attributen und Werten, generalisierbar erweitert werden, sodass alle Informationsobjekte als eigenständige Entitäten modelliert wurden. Durch diese, im Vergleich zum EAV-Ansatz, lose Kopplung der Beziehungen können unterschiedliche Informationsobjekte zusammen integriert und historisiert werden. Jede Entität wird als *Hub* mit mehreren *Links* und *Satellites* implementiert. Limitationen ergeben sich durch Änderungen von Attributspalten eines Satelliten zu eigenständigen *Hubs*, weil diese Transformationen sehr aufwändig sind. Da-

ten, welche als *Hubs* implementiert werden sollen, müssen daher im Designprozess frühzeitig definiert werden. Entitäten mit heterogenen und inkonsistenten Daten sollten daher grundsätzlich als *Hubs* modelliert werden. Das resultierende Modell ist im Ergebnis soweit generalisierbar, dass es sich auf Messergebnisse aller Art allgemein übertragen ließe, da die Relation Merkmalsträger-Merkmal-Ausprägung auf fast alle statistisch auszuwertenden Daten anwendbar ist.

Die Datenhaltung ist der erste Meilenstein in Richtung einer Gesamtarchitektur für ein umfassendes Forschungsdatenmanagement. Zukünftige Arbeiten liegen in der Vereinfachung von standardisierten, regelmäßigen Abfragen durch vordefinierte Prozesse. Dadurch soll mittelfristig der Zeitraum zwischen Erhebung der Daten und Bereitstellung der Informationen für wissenschaftliche Analysen und die Präsentation der Ergebnisse für Praxis und Politik minimiert werden. Weitere zukünftige Schritte sind die Entwicklung von Web-Front-Ends für die unterschiedlichen Teilprojekte (klinische Entscheidungsunterstützung [Hü16], Best Practices im Rahmen eines Benchmarkings zur Digitalisierung deutscher Krankenhäuser [Th14]), mit denen wissenschaftliche Ergebnisse in einer nutzerorientierten Sichtweise in die Praxis überführt werden können.

Literaturverzeichnis

[Ag10] Agarwal, R. et al.: Research Commentary —The Digital Transformation of Healthcare. Current Status and the Road Ahead. In Information Systems Research, 2010, 21; S. 796–809.

[Am09] Amarasingham, R. et al.: Clinical information technologies and inpatient outcomes: a multiple hospital study. In Archives of internal medicine, 2009, 169; S. 108–114.

[Ba13] Bauer, A. Hrsg.: Data-Warehouse-Systeme. Architektur, Entwicklung, Anwendung. dpunkt-Verl., Heidelberg, 2013.

[Bo16] Bojicic, I. et al.: A comparative analysis of data warehouse data models. In (Dzitac, I.; Filip, F. G.; Manolescu, M.-J. Hrsg.): 2016 6th International Conference on Computers Communications & Control (ICCCC). Hotel President, Băile Felix, Oradea, Romania, May 10-14, 2016. IEEE, Piscataway, NJ, 2016; S. 151–159.

[Bu11] Buntin, M. B. et al.: The benefits of health information technology: a review of the recent literature shows predominantly positive results. In Health affairs (Project Hope), 2011, 30; S. 464–471.

[Ch10] Chamoni, P. Hrsg.: Analytische Informationssysteme. Business Intelligence-Technologien und -Anwendungen. Springer, Berlin u.a., 2010.

[DN07] Dinu, V.; Nadkarni, P.: Guidelines for the effective use of entity-attribute-value modeling for biomedical databases. In International journal of medical informatics, 2007, 76; S. 769–779.

[Fo02] Forschungsgruppe Informatik im Gesundheitswesen der Hochschule Osnabrück: IT-Report Gesundheitswesen. http://www.it-report-gesundheitswesen.de/, 03.05.2017.

[FWB10] Friedman, C. P.; Wong, A. K.; Blumenthal, D.: Achieving a nationwide learning health system. In Science translational medicine, 2010, 2; 57cm29.

[He09] Hey, T. Hrsg.: The fourth paradigm. Data-intensive scientific discovery. Microsoft Research, Redmond Washington, 2009.

[Hü16] Hübner, U. et al.: ROSE – the learning health care system in the Osnabrück-Emsland / ROSE – das lernende Gesundheitssystem in der Region Osnabrück-Emsland. In International Journal of Health Professions, 2016, 3.

[In05] Inmon, W. H.: Building the data warehouse. Wiley, Indianapolis Ind., 2005.

[JSM14] Jovanovic, V.; Subotic, D.; Mrdalj, S.: Data modeling styles in data warehousing: 2014 37th International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO). IEEE, 2014; S. 1458–1463.

[KR13] Kimball, R.; Ross, M.: The data warehouse toolkit. The definitive guide to dimensional modeling. Wiley, Indianapolis Ind., 2013.

[LBK07] Lenz, R.; Beyer, M.; Kuhn, K. A.: Semantic integration in healthcare networks. In International journal of medical informatics, 2007, 76; S. 201–207.

[Lö12] Löper, D. et al.: Integrating Healthcare-Related Information Using the Entity-Attribute-Value Storage Model. In (He, J. et al. Hrsg.): Health information science. First international conference, HIS 2012, Beijing, China, April 8 - 10, 2012 ; proceedings. Springer, Berlin, 2012; S. 13–24.

[LO16] Linstedt, D.; Olschimke, M.: Building a scalable data warehouse with Data Vault 2.0, 2016.

[Me12] Meineke, F. et al. Hrsg.: Medizinische Forschungsdatenbanken als Baustein des Forschungsdatenmanagements an der Universität Leipzig. German Medical Science GMS Publishing House, 2012.

[Mu10] Murphy, S. N. et al.: Serving the enterprise and beyond with informatics for integrating biology and the bedside (i2b2). In Journal of the American Medical Informatics Association JAMIA, 2010, 17; S. 124–130.

[OAM07] Olsen, L.; Aisner, D.; McGinnis, J. M. Olsen, L.; Aisner, D.; McGinnis, J. M.: Institute of Medicine (US). Roundtable on Evidence-Based Medicine. The learning healthcare system. Workshop summary. Washington, DC: National Academies Press, 2007.

[Po15] Pommerening, K. et al.: Der Impact der Medizinischen Informatik. In Informatik-Spektrum, 2015, 38; S. 347–369.

[Th14] Thye, J. et al.: IT-benchmarking of clinical workflows: concept, implementation, and evaluation. In Studies in health technology and informatics, 2014, 198; S. 116–124.

[WC16] Wickham, H.; Chang, W.: ggplot2: Create Elegant Data Visualisation Using the Grammar of Graphics. Springer, 2016

[WHM11] Wade, T. D.; Hum, R. C.; Murphy, J. R.: A Dimensional Bus model for integrating clinical and research data. In Journal of the American Medical Informatics Association JAMIA, 2011, 18 Suppl 1; S. 96-102.

[Ya12] Yamamoto, K. et al.: A pragmatic method for electronic medical record-based observational studies: developing an electronic medical records retrieval system for clinical research. In BMJ open, 2012, 2.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 1369

pSTAIX - A Process-Aware Architecture to Support Research Processes

Marius Politze[1], Bernd Decker[2] and Thomas Eifert[3]

Abstract: Universities IT service providers are faced with rising demands on existing IT systems and higher degrees of individualization. The challenge thus is to provide services that researchers can use today but that are flexible and sustainable enough to also support tomorrows' research processes. Emerging from previous projects supporting administrative and learning processes, a reference architecture is proposed that aims at providing a general guideline to build process-aware services supporting eResearch. The proposed architecture gives guidance on structuring development and operation of services and formalizes how existing IT systems transition into process-aware services.

Keywords: eResearch; OAuth2; process support; process modelling; research data management; SOA; software architecture

1 Introduction

To cope with rising numbers of students, administrative processes are often heavily supported by centralized university IT systems. Many initiatives focus on eLearning to develop, streamline and standardize technology enhanced teaching and learning. Even though teaching and research are the two core processes used at all universities which are mostly carried out by the same user group and the same organizations. Whereas Supporting technology for scientific research processes still needs significant investments in order to build a foundation for eResearch services.

At university level, there is an initiative to set up an integrated Research Data Management (RDM) system over the next years. A project group focuses on consulting and training as well as on the development of technical solutions for RDM. Since managing data requires extra effort from researchers, usability and seamless integration into existing processes are key to establishing an integrated RDM. Technical solutions need to cover all domains of the research process: the private and collaborative domain, in which researchers actively work with the data, as well as the archive and publication domain, in which data access is less frequently [EMS16].

[1] RWTH Aachen University, IT Center, Seffenter Weg 23, 52080 Aachen, Germany politze@itc.rwth-aachen.de
[2] RWTH Aachen University, IT Center, Seffenter Weg 23, 52080 Aachen, Germany decker@itc.rwth-aachen.de
[3] RWTH Aachen University, IT Center, Seffenter Weg 23, 52080 Aachen, Germany eifert@itc.rwth-aachen.de

doi:10.18420/in2017_137

On the one hand, researchers have rising demands to existing and IT systems and infrastructure in order to gain short-term value. On the other hand, many organizational issues need to be addressed such as defining when and how RDM systems are used within the research process. The challenge for central IT service providers thus is to implement services that researchers want to use today and that are flexible enough to support tomorrows' processes.

In contrast to research processes, learning processes at the university have been supported by central IT services for almost a decade. While processes themselves may be very different, the number of individuals and participating organizations within the university are comparable. Based on experience from previous projects, which support administrative and learning processes with centralized and decentralized IT services, the proposed infrastructure aims to provide a general guideline to tailor process-aware services to support eResearch.

Also digital literacy increases among researchers and changes the way IT services are used. While a set of ready-to-use services are required, individualization and adoption of the processes is becoming more important to heavy users. Institutes can join forces to build an application that enhances common workflows within processes and thus increase their short-term business value. Transferring applications that meet the needs of many researchers into centralized services, in turn increases sustainability and long-term benefits for all users.

2 Related Work

Over more than a decade centralized and decentralized IT services have been established by universities for eLearning and, more general, student lifecycle management (SLM). This development is in line with the general trend in our society. Juling describes that mobility and ubiquity of information technology and therefore global accessibility, reachability have become part of our daily life [Ju09]. Students rightfully have been expecting the digitization of university services as Barkhuus and Dourish have discussed [BD04]. While the technological basis has severely changed since the study in 2004, the social roles, relationships and responsibilities of the students are mostly comparable. Furthermore, former students returned to universities as researchers and are expecting the same kind of support they got when they were students.

Of course this made eResearch and especially RDM a focus of research groups in the past years. With RADAR (Research Data Repository) Kraft et al. established a software as a service (SaaS) that scientists may use to preserve and publish their research data, providing long term storage, persistent object identifiers and metadata [Kr16]. Other approaches such as ProjektRepository [PD16] or TR32DB [Cu14] additionally introduce the researchers' needs for collaboration within a research repository.

In a more general approach research groups are focusing on the design of service oriented architectures (SOA) for arbitrary business processes. The dawn of so called cloud services changed the focus and clearly separates the operation of IT services and SOAs building upon

these as described by Zimmermann et al. [Zi13]. Micro service architecture as described by Namiot et al. [NSS14] and new models for assessing maturity of SOAs as presented by Rathfelder et al. [RG08] and Welke et.el. [WHS11] show how these developments influence the design and implementation of SOAs.

3 Conceptual Model

Based on the existing architecture for supporting eLearning services [PSD16], the conceptual model adds an application proxy, cache and a uniform application programming interface (API) as a SOA as a basis for the development of more complex IT services. The proxy service organizes the access to other systems using vendor specific or legacy APIs of back end systems. Basing the proxy API on the processes rather than the technology of underlying services effectively reduces the impact of vendor lock in. Furthermore, this design allows adding new services and distributing requests between multiple instances or implementations based on defined sets of rules. This actively decouples the systems into smaller functional units, which in turn increases maintainability.

Among ready-to-use applications, the model allows users to extend and integrate processes in their own applications using the provided API. Exposing a programmable interface to all users, however, poses very strict requirements to the implementation: (1) The interface has to be explained to the users, (2) it must not allow abusing the supported workflows within the processes and (3) it has to be secure.

With every supported process in the interface, the complexity of an API increases. Explaining a complex interface to users thus becomes more challenging. Appropriate and consistent use of names, matching the definition and wording within the defined process, therefore is crucial and allows users to transfer their knowledge from taking part in the processes to their implementation. Existing IT services, however, often do not offer such a process-aware view but provide a much more general interface.

If the API is not specific, it may invite users to use it for other workflows than intended. While this may be beneficial for the short-term interests of the user, IT service providers usually desire the usage only within the specified parameters, having to meet technical bounding conditions such as CPU load, disk sizes, and the like. Enforcing these boundaries within the interfaces is crucial for failure-free operation of back end services but may also limit the possible degree of individualization.

Allowing users programmatic access to services, potentially exposes personal and confidential data in a machine readable format. As strictly reviewing all applications implemented by users usually is infeasible, security becomes another design principle of the API. Nevertheless, developers have to register prior to the implementation of their solutions. Applications furthermore often work on behalf or within the context of a user. Commonly, a user supplies credentials such as a user name and a password to authenticate. This allows the back end

services to distinguish between different user contexts and associated rights and roles. However, by giving user credentials to an application it gains full power to perform every possible action within the users' context. Thus, the API should allow to limit applications to access defined subsets of processes.

4 Abstraction to Process Level

Basing on the conceptual model, pSTAIX (Process oriented Software Tiers for Application Interfaces and eXtension) aims to be a reference SOA, abstracting system and technology depended application interfaces to process-aware services. Therefore, pSTAIX uses tiers to allow separation of concerns; especially in terms of separating technology and process dependent parts of the implementation. Each of the tiers is based on the interfaces offered by the previous tiers and combines them to process-aware services. Figure 1 shows an overview of the relationships of different tiers in the reference architecture.

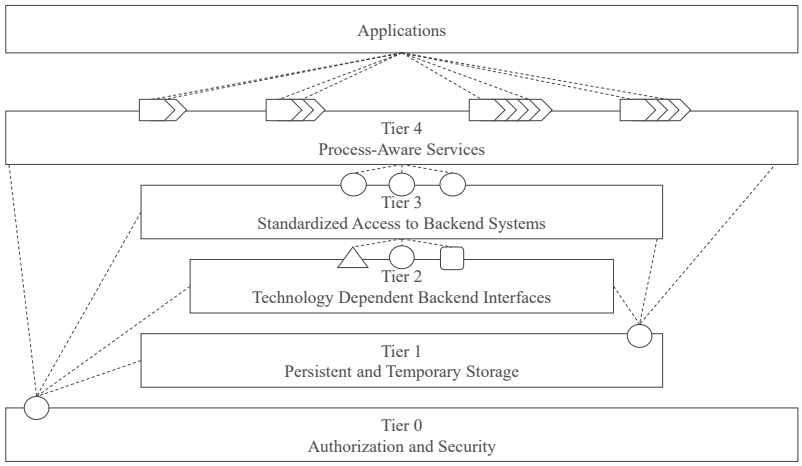


Fig. 1: Overview of the pSTAIX reference architecture

Apart from technologically structuring services, pSTAIX also formalizes the transitions of IT systems into process-aware services offered to application developers and end users. As technology dependencies decrease and services orient more towards defined processes, they can be easier understood and require less technology dependent knowledge about back end systems. Apart from providing a technical structure to elevate services to process-aware services, pSTAIX also provides guidance on how to structure software development and IT operation teams in order to successfully implement and provide a certain kind of service. As a result each team is responsible for providing a defined set of interfaces and can therefore focus on development and implementation in their area of responsibility. Clearly defined interfaces between the tiers allow teams to use different technologies and even to exchange technology stacks if interfaces remain.

4.1 Tier 0: Authorization and Security

Services in this tier are the basis for all other services. For almost every process in university context, it is necessary to identify the users of the services. Once processes span across multiple system boundaries, it needs to be assured that users can access all spanned systems. A centralized identity management (IdM) is crucial for the provisioning of necessary user information to systems. Users' identities and sessions then need to be conveyed between the systems.

This tier, however, only supplies and manages information about the users' identity and current session. Backend systems are generally very well capable of handling their own set of permissions. Whenever possible, tier 0 services should only provide sufficient context about the user such that services in the higher tiers can decide about their permissions.

Development and operation of this tier are crucial for other services. Aggregation of information about identities, groups and roles for higher level tiers makes tier 0 services crucial for data security and data privacy. Services in this tier should focus on state-of-the-art technology to protect and govern usage of personal data.

4.2 Tier 1: Persistent and Temporary Storage

Process-aware services created in the higher tiers often require saving session states or small amount of user data, such as settings, to be preserved between steps of the process. To reduce the need of individual storage solutions, tier 1 introduces persistent storage for small quantities of data. This is crucial, since some back end systems are not designed to be accessed interactively by users and may be slow when put under high load. Also, lifting services to process level may sacrifice efficiency in a way that requests to back end systems need to be repeated multiple times. Short term or temporary storage can be used for caching of such requests and therefore increases the performance of the overall architecture.

Both data stores can operate on either a user or process basis for private or public data respectively. Tier 1 services are likely to use different technologies to separate temporary from persistent data. If temporary storage needs to cache files prior to processing it may need to handle medium quantities of data in the range of a few gigabytes per user. For this kind of general storage, it should, however, be kept in mind that services are generally intended for small quantities of data, in the range of several kilobytes per user. If back end systems need to store more complex or higher volume data they should integrate storage solutions in upper tiers.

4.3 Tier 2: Technology Dependent Backend Interfaces

Opposed to tier 0 and 1, services in tier 2 are very specific to existing systems and depend heavily on the technological details of back end systems. Furthermore, they are generic since they are not designed to support specific processes but simply allow programmatic access to the back end system.

Especially in case of legacy systems, this tier often provides administrative or root access to the back end system or allows impersonating arbitrary users. These interfaces are not commonly available to end users but are used by technical personnel for managing purposes. Most modern systems likely allow resolving the users' session using tier 0 services by using plug-ins or specific extensions.

4.4 Tier 3: Standardized Access to Backend Systems

As technology advances, services in this tier are likely to change and move between internal or external organizations or contractors. The tier architecture, however, limits the impact by this kind of changes by introducing tier 3 services. While tier 2 services change abruptly when the back end system changes, services in this tier can change using evolutionary processes, paving the way for more elaborate software engineering methodologies.

To form a basis for process-aware services, tier 3 introduces standardized protocols and semantics spreading across system boundaries. If not supported by tier 2, these interfaces enforce personalized use and therefore do no longer offer the ability of impersonating arbitrary users. Instead, they work in the current users' context. The services should also integrate the back end systems into the organizational structure of the university by taking identities, groups and roles into account.

4.5 Tier 4: Process-Aware Services

After standardizing the transport protocols, this tier aims to integrate interfaces from previous tiers into process-aware services. It therefore lifts the semantics of the services from technical solutions to organizational and process level. Most importantly, this tier introduces consistent naming and semantics across processes and bundles mandatory or dependent calls to different back ends. Services from this tier are likely to be provided to heavy users as they can be used for individualization, automation and integration of processes in their own applications.

4.6 End User Applications

Last but not least, end user applications are on top of the reference architecture. The previous tiers focused on programmatic access to processes, services and back end systems. Applications should focus on using tier 4 services providing business value for the users. Since services are process-aware, it is easy to implement applications guiding the user through a single process. Furthermore, applications should make use of consistent semantics offered by tier 4 services to span across process boundaries.

5 Key Technologies

Before implementing actual processes on top of the pSTAIX reference architecture, some supporting key technologies were selected. Due to easy use and ubiquitous availability, web technologies have emerged to a defacto standard for process supporting services in many business areas. Even though architecture agnostic, the implementation of the pSTAIX reference architecture makes use of web technologies to build process-aware services.

Representational State Transfer (REST) [Fi00] is probably one of the most used paradigms in modern internet applications. The support of many programming languages and frameworks is very mature. Due to its wide spread in internet applications, also many software developers know how to use REST APIs. In addition, various platforms, ranging from smart devices and sensors via smartphones and desktop computers to compute clusters, are able to access HTTP resources. HTTP has thus emerged as a standard protocol in communication and is therefore used for standardized access in tiers 3 and 4.

Managing universities users, their roles and associations are key for many local services [EB13]. Identity federations are well established and widely used to secure educational internet applications. These federations offer single sign on capabilities and allow exchanging user information between participating services [Gr16]. National federations organize hierarchically to inter-federations such as eduGAIN. This does not only provide a standardized way to authenticate users, but also allows easy sharing and reuse of services across universities and other organizations. The underlying Security Assertion Markup Language (SAML) protocol [Ca05], however, is technically restricted to interactive sessions in a web browser. Other applications, such as apps installed on a smartphone, require additional protocols. Instead of authentication, the OAuth2 protocol allows users to authorize an application to use resources on their behalf [Ha12]. It thus allows secured, personalized access to REST APIs and handles the users' authorization without supplying credentials to the application itself. This also paves the way for third party developers accessing central IT services. The OAuth workflow has various extension points to integrate it further into existing infrastructures. This complex of identity management forms tier 0 in the reference architecture with OAuth as the main workflow to secure APIs for the users.

While not a technology in classical sense, the programmers of the applications are crucial to the success of the conceptual model. Especially researchers from technical disciplines tend to own implementations. As digital literacy increases and APIs are easier to use, it is likely that this trend becomes more popular. Crotch et al. point out that many small supporting implementations may lead to issues in terms of software quality and reproducibility for future researchers [Cr13]. Within the UK, the Software Sustainability Institute addresses these issues by trainings and further support for research oriented software. As IT specialists are a rare resource, recruiting junior staff becomes even more important. Apart from handling basic web technologies, it is mandatory that they understand the business needs of the institutions. Integrated degree programs as presented by Küppers et al. join theory and practice from the very beginning of a study program in the field of computer science [Kü16] and as such aim to solve this problem.

6 Case Study: simpleArchive

The project *simpleArchvie* serves as a prototype scenario to validate how pSTAIX architecture influences the development of an IT service supporting the research process.

Looking at the processes in figure 2, the general idea of *simpleArchive* is as follows: The applications presents a web interface to the researcher, that allows uploading small amounts of research data artifacts (up to two gigabyte). After the data is uploaded, it is assigned a persistent identifier (PID) that uniquely defines the uploaded data and can be used by the researcher as a reference. According to requirements e.g. posed by funding or publishing organizations, *simpleArchive* retains a copy of the data for at least ten years. Researchers and their peers can retrieve stored data from *simpleArchive* if they want to share it at a later point in time.

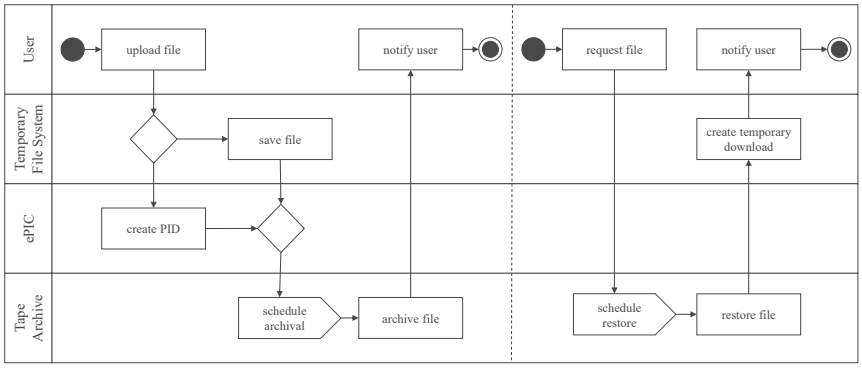


Fig. 2: Simplified overview of *simpleArhive* processes

Obviously, archiving files also poses technical challenges to IT systems. In order to provide long term storage for files, an existing TSM tape archive provides a cost-efficient solution. However, access requires using specialized software and is generally not suitable to be

used by non-technical personnel. This specialized software and a C++ API are therefore technology dependent services from tier 2. The same applies for the system used to register or query PIDs: ePIC, and a temporary file system to store data while being processed by the archive or retrieval queues: *gigaMove* [BBH11]. All the mentioned IT systems were already available and have various system dependent interfaces forming tier 2.

Services in tier 0 and 1 are not specific to eResearch and are therefore shared with already established structures from eLearning as previously described in [PSD16]. Shibboleth and OAuth2 are used to establish a users context and to pass authorizations between different back end systems. The distributed cache and a database storage infrastructure to manage archive queues and store meta information about uploaded files for users were also reused.

Building upon the services from tiers 0 to 2, allowed to develop a REST API to access the different back end systems. Typical services in this part of tier 3 are

- Creation of an archive node,
- Creation of a PID,
- Storing a file to the temporary file system,
- Saving file meta information to the database,
- Writing and reading a file in the archive or
- Making a temporary file available for download.

Most of these services are already working in the users' context. Also, by looking at the described methods, it is fairly possible to resemble the process above. However, from these methods the processes powering *simpleArchive* are not quite obvious: The archive node is not coupled to the PID, nor is the file meta information; writing a file to the archive requires saving it to the temporary storage et cetera. In different contexts, these methods can support a multitude of processes. Therefore, using these methods as building blocks for process-aware services allows developers without knowledge of the exact inner relationships of back end systems to build applications using the process.

In tier 4 *simpleArchive* therefore defines services such as

- Upload a file for archival and return a PID
- List all PIDs and meta information created in *simpleArchive*
- Queue a file for restore and generate a download link

These services use clear naming conventions and identify all uploaded files with the assigned PID. Besides *simpleArchive* already offering a basic web interface for researchers, application developers may then use these services to integrate them into a specialized application, which in turn could be integrated into an institutional intranet or other applications.

7 Future Challenges

To support future processes with centralized IT services, service providers need to gain more insight into actual research processes, find common approaches and how to effectively support them. Experiences from already established approaches, e.g. for didactic coaching in academics and eLearning or business process analysis and consulting in companies, can be reused and applied to enhance research processes.

Performing a good process analysis is key for tier 4 services. If these appeal to the user and match their expectation and experiences, they can be used correctly, integrated into researchers workflows and provide short-term business value. The architecture of pSTAIX allows reusing services from tiers 0 to 3 within future processes. The users, however, are limited to processes-aware services in tier 4. When publishing interfaces for users, consistent naming and semantics are most important and have to be enforced throughout all process-aware services.

Building a process-aware SOA implies connecting different existing back end systems. Thus, an error in one of these systems often leads to a failure of the whole process. To keep the services accessible for users, it is therefore important to isolate different pieces of the service from one another. Micro service architectures help to solve this, but add additional complexity to software engineering and application lifecycle processes during development of APIs and applications. Process-aware APIs are therefore much more complex and require establishing governance and change management systems.

As back end systems are connected, it needs to be assured that they can identify users across system boundaries. On the one hand user accounts and data needs to be accessible and provisioned into back end systems. On the other hand, it needs to be assured that personal data is shared across system and process boundaries only if the user desires to do so. Establishing a centralized identity and group management as well as shared authentication and authorization services is therefore key to spread processes across system boundaries.

8 Conclusion

The presented pSTAIX architecture provides a general guideline for implementing process-aware IT services based upon existing back end systems. The reference architecture can be used to structure developed services but also teams of software developers and IT operators into units with clear responsibilities. While some challenges arise from this newly created setting in organizational and technical context, it was possible to successfully apply the reference architecture in the development of *simpleArchive*.

Building a reference architecture for process-aware services is a bottom up approach from a technical perspective. From point of view of the whole organization there are still many uncertainties on how to supply the created services to the organizational units within the

university. In depth analysis of the research processes needs further attention to successfully deliver short- and long-term business value to researchers.

Even though intended to support research processes, this methodology bears the risk that APIs cannot be used by researchers directly: Basic applications need to be available in order to support research processes without requiring programming capabilities. APIs are provided to adopt or integrate supported processes into existing tools at the institutes. To allow fast adoption in custom scenarios, it is therefore crucial that users' knowledge about existing processes can be reused, when using the APIs.

As digital literacy and ubiquity of computing resources increases, most basic IT services can be leased of bought from specialized companies easily. Institutes will no longer require IT service providers at universities to run these services. Process analysis, identification and implementation of key technologies such as centralized layers for identity management, authorization, caching and continuous development of process-aware and integrated APIs to off-the-shelf IT components is an emerging competence that existing university IT service providers need to build up in order to keep their right to exist.

References

[BBH11] Bischof, Christian; Bunsen, Guido; Hinzelmann, Sebastian: Gigamove – Einfach und schnell große Dateien austauschen. In (Verein zur Förderung eines Deutschen Forschungsnetzes e.V., ed.): DFN Mitteilungen (Ausgabe 80), pp. 30–32. Berlin, 2011.

[BD04] Barkhuus, Louise; Dourish, Paul: Everyday Encounters with Context-Aware Computing in a Campus Environment. In (Hutchison, David; Kanade, Takeo; Kittler, Josef; Kleinberg, Jon M.; Mattern, Friedemann; Mitchell, John C.; Naor, Moni; Nierstrasz, Oscar; Pandu Rangan, C.; Steffen, Bernhard; Sudan, Madhu; Terzopoulos, Demetri; Tygar, Dough; Vardi, Moshe Y.; Weikum, Gerhard; Davies, Nigel; Mynatt, Elizabeth D.; Siio, Itiro, eds): UbiComp 2004: Ubiquitous Computing, volume 3205 of Lecture Notes in Computer Science, pp. 232–249. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2004.

[Ca05] Cantor, Scott; Kemp, John; Philpott, Rob; Maler, Eve, eds. Security Assertion Markup Language (SAML) V2.0. OASIS Standard, 2005.

[Cr13] Crouch, Stephen; Hong, Neil Chue; Hettrick, Simon; Jackson, Mike; Pawlik, Aleksandra; Sufi, Shoaib; Carr, Les; de Roure, David; Goble, Carole; Parsons, Mark: The Software Sustainability Institute: Changing Research Software Attitudes and Practices. Computing in Science & Engineering, 15(6):74–80, 2013.

[Cu14] Curdt, Constanze: Design and Implementation of a Research Data Management System: The CRC/TR32 Project Database (TR32DB). Dissertation, Universität zu Köln, Cologne, 2014.

[EB13] Eifert, Thomas; Bunsen, Guido: Grundlagen und Entwicklung von Identity Management an der RWTH Aachen. PIK - Praxis der Informationsverarbeitung und Kommunikation, 36(2), 2013.

[EMS16] Eifert, Thomas; Muckel, Stephan; Schmitz, Dominik: Introducing Research Data Management as a Service Suite at RWTH Aachen University. In (Müller, Paul; Neumair, Bernhard; Reiser, Helmut; Dreo Rodosek, Gabi, eds): 9. DFN-Forum Kommunikationstechnologien, volume 257 of GI Edition Lecture Notes in Informatics Proceedings (LNI), pp. 55–66. Köllen, Bonn, 2016.

[Fi00] Fielding, Roy Thomas: Architectural Styles and the Design of Network-based Software Architectures. Doctoral dissertation, University of California, Irvine, 2000.

[Gr16] Grabatin, Michael; Hommel, Wolfgang; Metzger, Stefan; Pöhn, Daniela: Improving the Scalability of Identity Federations through LevelofAssurance Management Automation. In (Müller, Paul; Neumair, Bernhard; Reiser, Helmut; Dreo Rodosek, Gabi, eds): 9. DFN-Forum Kommunikationstechnologien, volume 257 of GI Edition Lecture Notes in Informatics Proceedings (LNI), pp. 67–76. Köllen, Bonn, 2016.

[Ha12] Hardt, D.: The OAuth 2.0 Authorization Framework. RFC Editor, 2012.

[Ju09] Juling, Wilfried: Vom Rechnernetz zu e-Science. PIK - Praxis der Informationsverarbeitung und Kommunikation, 32(1):33–36, 2009.

[Kr16] Kraft, Angelina; Razum, Matthias; Potthoff, Jan; Porzel, Andrea; Engel, Thomas; Lange, Frank; van den Broek, Karina; Furtado, Filipe: The RADAR Project - A Service for Research Data Archival and Publication. ISPRS International Journal of Geo-Information, 5(3):28, 2016.

[Kü16] Küppers, Bastian; Dondorf, Thomas; Willemsen, Benno; Pflug, Hans Joachim; Vonhasselt, Claudia; Magrean, Benedikt; Müller, Matthias S.; Bischof, Christian: The Scientific Programming Integrated Degree Program – A Pioneering Approach to Join Theory and Practice. Procedia Computer Science, 80:1957–1967, 2016.

[NSS14] Namiot, Dmitry; Sneps-Sneppe, Manfred: On Micro-services Architecture. International Journal of Open Information Technologies, 2014.

[PD16] Politze, Marius; Decker, Bernd: Ontology Based Semantic Data Management for Pandisciplinary Research Projects. In (Curdt, Constanze; Wilmes, Christian, eds): Proceedings of the 2nd Data Management Workshop, volume 96 of Kölner Geographische Arbeiten. Cologne, Germany, 2016.

[PSD16] Politze, Marius; Schaffert, Steffen; Decker, Bernd: A secure infrastructure for mobile blended learning applications. In (Bergström, Johan, ed.): European Journal of Higher Education IT 2016-1. Umeå, 2016.

[RG08] Rathfelder, Christoph; Groenda, Henning: iSOAMM: An Independent SOA Maturity Model. In (Meier, René; Terzis, Sotirios, eds): Distributed Applications and Interoperable Systems, volume 5053 of Lecture Notes in Computer Science, pp. 1–15. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2008.

[WHS11] Welke, R.; Hirschheim, R.; Schwarz, A.: Service-Oriented Architecture Maturity. Computer, 44(2):61–67, 2011.

[Zi13] Zimmermann, Alfred; Sandkuhl, Kurt; Pretz, Michael; Falkenthal, Michael; Jugel, Dierk; Wissotzki, Matthias: Towards an integrated service-oriented reference enterprise architecture. In (Knauber, Peter; Knodel, Jens; Lungu, Mircea Filip, eds): Proceedings of the 2013 International Workshop on Ecosystem Architectures. pp. 26–30, 2013.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 1381

Selecting, Packaging, and Granting Access for Sharing Study Data

Experiences and Recent Software Developments in the LIFE Study

Toralf Kirsten[1 2] Jonas Wagner[1] Alexander Kiel[1] Mathias Rühle[1] Markus Löffler[1 2 3]

Abstract: Data in medical studies and research projects are captured, curated and analyzed, often, with a substantial personal and financial effort. Such study data are typically managed by institutions and groups who are involved in these studies and projects. Often, they are refrained by these institutions and, thus, not shared with other scientists who are interested in similar medical topics or hypotheses. Open the data for other scientists will speed up medical insights, enable analyzes which currently lacks data amount either by enlarge the set size of study objects and by finding suitable controls, and allow to validate published results taking data from other studies into account. In this paper, we introduce the data sharing approach we use at the LIFE Research Center for Civilization Diseases, University Leipzig. Our approach is influenced by the OAIS reference model for archiving and distributing data to a designated community. We highlight several aspects of this approach, sketch the process and describe the supporting IT infrastructure. In particular, we outline the LIFE Data Portal and the LIFE Proposal Manager allowing to find, access, and reuse metadata and study data for dedicated analysis projects.

Keywords: Data Sharing; Accessing Study Data; LIFE

1 Introduction

Medical scientific data are captured, cleaned, and analyzed with a substantial effort in clinical trials, epidemiological studies and other health-related surveys. Often, they are, however, refrained by the data owners (study consortia). Hence, data are not freely accessible and usable for the scientific community which has at least two negative effects. First, published results are typically not reproducible taking the captured and prepared study data into account, such that scientific questions are re-funded by new research projects which have been already sufficiently scientifically answered. Secondly, methodical imbalances or questions according to the analysis procedure and their impact on the interpretation are hard to discover. In case the results are too questionable but results are for general interest, the study is typically repeated. This "Waste in Clinical Research" has been described in a series of five papers in Lancet Journal 2014 [Ch14a, Ch14b, Sa14, Io14, Gl14]. In consequence, highly ranked medical journals including New England Journal of Medicine, Deutsches Ärzteblatt (German Medical Journal), Journal of Medical Association and others [Ta16]

[1] LIFE Research Center for Civilization Diseases, Univ. Leipzig, Philipp-Rosenthal-Str. 27, 04103 Leipzig
[2] Interdisciplinary Center for Bioinformatics, Univ. Leipzig, Härtelstr. 16-18, 04107 Leipzig
[3] Institute for Medical Informatics, Statistics and Epidemiology, Univ. Leipzig, Härtelstr. 16-18, 04107 Leipzig
{tkirsten, akiel, mruehle, jwagner}@life.uni-leipzig.de, markus.loeffler@imise.uni-leipzig.de

doi:10.18420/in2017_138

vote for publishing research insights together with information about accessing relevant study data.

Often, there are different stages in that data are created, filtered, and manipulated. Raw data are directly the result of data capturing processes. Curated data are generated when raw data are cleaned. Publication data are specifically selected curated data according to the analysis goal or scientific hypothesis for that the publication describes the result. They often include additional scores or other derivatives and are accumulated with external data, such as previous results and publicly available annotations, which enriches curated data in order to extract specific analysis results that are then published. Such publication data are directly included into a publication or are, sometimes additionally, made available as supplementary material in publicly accessible online resources, such as web pages of authors, institutions, and journals. More and more data citation platforms are commonly used, e.g., Havard Dataverse [4], Dryad [5] or other domain-specific data repositories hosting such data according to each publication.

In contrast to publication data, raw and curated study data are managed by study centers or research institutions where the data have been produced or which are basically primarily responsible for their management. Data are shared within an institution and consortia or are shared based on special relationships. Therefore, a general approach has been developed in recent years allowing sharing study data in Germany systematically. This sharing approach has been repeatedly applied and adopted in several studies including KORA [MPL16], SHIP [Jo01], GANI_MED [Gr14], NAKO [Co14], and LIFE [Lö15, Po17]. These studies are hosted by different research institutions. While the sharing approach is similar across these institutions, their support by innovative software tools is different. Some institutions select data manually from databases and utilize spreadsheets to manage all sharing processes whereas other institutions apply web-based software systems.

In this paper, we report about the sharing approach we use at the LIFE Research Center for Civilization Diseases, University Leipzig. This sharing approach necessitates organizational structures and an IT infrastructure allowing us to select, package, and granting access to data for specific analysis projects. Therefore, we start the paper (Section 2) with a description of the sharing process and the required organizational structures. In the second part (Sections 3 and 4) we outline our IT-infrastructure for sharing curated study data. Section 5 concludes the paper.

2 Data Sharing at a Glance

Subsequently, we give an overview highlighting general aspects and outline organizational structures that we created and use in LIFE for sharing data before we outline the sharing process.

[4] http://scholar.harvard.edu/mercecrosas/publications/dataverse-4-defining-data-publishing
[5] http://datadryad.org

2.1 Overview

General data sharing aspects are covered by the Open Archiving Information System (OAIS) [Th12]. OAIS is a ISO reference model (ISO 14721:2012) for archiving and distributing data to a designated community. The reference model describes general sharing aspects, i.e., data are generated by one or more data producers, are then hosted and administered by a data management organization, and finally, provided to data consumers. The reference model describes such different authorities, their roles and functions, and necessary interfaces on a higher level. It is, therefore, a template for data sharing processes that can be applied in medical sciences, too, but need specializations in this application domain. In LIFE, we adopted the reference model

Sharing medical study data requires to concern legal and ethical aspects. Typically, such data are captured by and in interviews, questionnaires, and physical examinations in which patients or probands (participants of a study) answer to predefined questions and are examined by nurses and physicians. Additionally, laboratory data are generated when bio-samples including blood, urine, hair etc. taken from participants are analyzed in a wet lab. In all these cases, captured medical data refer to single participants. Therefore, privacy aspects need to be concerned when medical data will be shared.

2.2 Consent & Privacy Aspects

A first aspect pertains to participant's consent. In medical studies and other research projects, data are only captured from persons who have been consented that all captured data are managed by a named institution and are used for medical research. Sometimes, the given intended use is more specific than the term "medical research"; the consent is then given for a specific medical hypothesis. However, data with such a specific consent (called as informed consent) can only be used in the intended direction; their reuse to analyze other hypotheses is then not allowed and necessitates a renew consent of the participant. The consent is typically captured by a specific form that the participant needs to sign.

Privacy constraints and Good Clinical Practices (as used in clinical trials) necessitates the separation of identification and study data. Identification data include participant's name, address data, id card no. etc. These data are managed by an information system that generates and links a pseudonym to each identification representation; in LIFE the participant pseudonym is called "Subject Identifier Code" (SIC). The SIC is then used to capture study data, i.e., data entry systems never manages study data together with identification data. In LIFE, we also generate pseudonyms for bio-samples and physical examinations allowing to specifically track bio-samples and generated data files. Both pseudonyms are linked with the participant pseudonym SIC. Moreover, a further new pseudonym, the PSIC ("Proposal-specific Subject Identifier Code"), replaces the SIC pseudonym in shared data. Therefore, shared data never contain pseudonyms used in capturing processes.

2.3 Access Management

To respect participant's privacy, captured medical data are in general not freely available but are provided on request. This way, a scientist, a group or consortia need to apply for data using a *Data Usage Proposal* in order to receive data from LIFE studies. With each proposal, the scientist exactly describes what data are required for the intended analysis according to a medical hypothesis the scientist is willing to answer. This data specification contains both, relevant study items (i.e., variables) that should be included in the analysis and relevant cases (i.e., data of participants). The latter results in study events (e.g., visits) of participants. Inclusion and exclusion criteria are typically used to specify and, later, to retrieve relevant data. All proposals need to be maintained and, thus, need organizational and IT support.

2.4 Organizational Structures in LIFE

Coordinated sharing of study data, preferably curated study data, necessitates organizational structures. Figure 1 shows an overview of such structures and their interplay in LIFE. Each group has specific responsibilities and functions. The Metadata and Data Transfer (DMT) group is, on the one hand, at the interface between scientists who conduct and scientifically attend the LIFE studies (left side in Figure 1). In this role, scientists are data producers. In LIFE, there are multiple studies including LIFE Adult, LIFE Heart, LIFE Child, LIFE Child Depression and LIFE Head & Neck Cancer. Each of these studies uses a set of participants who are examined by multiple assessments (interviews, questionnaires, ...). The DMT and study representatives discuss data entry, input forms and their containing study items as well as the resulting data structures; sometimes, the DMT supports the configuration of input forms in specialized data entry systems allowing to capture data. In LIFE, we use Lime Survey for electronic (online) and the Teleform system for paper-based data capturing. The latter allows to scan filled paper forms and to verify recognized input in a second step. On the other hand, the DMT group is at the interface to scientists who requests data by data usage proposals (right side in Figure 1). Therefore, the DMT group needs to have an overview about all assessments on data producing side, their application in any LIFE study and their usage in any data request by scientists on data consumer side.

The DMT group is in contact with IT group which is responsible for technical data management (see Figure 1). Data are delivered by study representatives, over the DMT group or are retrieved directly from data entry systems. In LIFE, all data are centrally managed. Structured data are integrated into the research database whereas unstructured data, i.e. files, are managed in file system. Metadata are usually used to describe captured data. Such metadata can be extracted from input forms since entry fields are labeled by questions and parameter names, e.g., for physical measurements, or need to be specified manually. In LIFE, metadata are managed by a Metadata Repository. Their use is threefold. Firstly, metadata are used for harmonization when data from different input forms and input systems need to be integrated. Secondly, they are used to search for study items of interest and, thus, answers questions regarding the availability and granularity of items (see below)

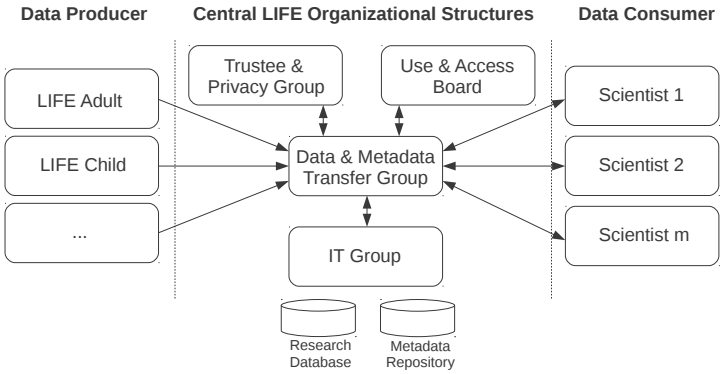


Fig. 1: Organizational Structures for Sharing Study Data in LIFE

for that data have been captured in LIFE studies. Finally, metadata are used to automatically build queries over data collections in the research database. In [Ki17] (data integration) and [UK15] (data retrieval) we describe both metadata-related aspects in more detail.

The Trustee and Privacy Management (TPM) group concerns data privacy aspects. Firstly, the TPM is responsible for managing consent information taken from each participant. The group manages the signed consent paper forms and withdraws (since both, consent and withdraws, are not yet electronically captured in LIFE). Moreover, the TPM group is also responsible for managing participant's identification data. While identification data are mostly used in processes before data have been captured, e.g., for participant invitations and appointment making, their relation to study data is only necessary in special and rare cases, e.g., when selected study results should be communicated on individual basis or when participants are selected based on study results and reinvited for a special follow up. The TPM group resolves the identification taking the relevant set of participant pseudonyms into account.

Finally, a Data Use & Access Board (DUA) reviews the Data Usage Proposals which have been submitted by scientists to request data from LIFE studies. As a result of the review process, the board accepts or declines a proposal. In LIFE, the DUA board is not an organizational unit but a group of scientists and administration staff from different groups including DMT, TPM, and IT. This board regularly meets every four weeks.

2.5 Feasibility Queries and Data Sharing Process

The BPMN diagram in Figure 2 outlines the most relevant steps of the sharing process we used in LIFE. Usually, a first step of a scientist with a medical hypothesis in mind is to look for relevant data. This question for information combines two aspects (activities 1 + 2). Firstly, a scientist is interested in looking for study items (variables) or document classes that are relevant for the intended hypothesis (activity 1). This allows the scientist to determine whether the necessary data is available and in the right granularity. Such querying

requires metadata about assessments and study items of structured and unstructured data. While the first include data that are typically generated by interviews and questionnaires and are in tabular form, the latter are usually different types of files, i.e., images, videos, and any other outcome of physical examinations using medical devices. Often the latter also includes raw data of genetic determinations ranging from a single large file to a large set of files per examination. Typically, a Metadata Repository manages metadata about structured and unstructured data and supports the intended querying and information retrieval (search).

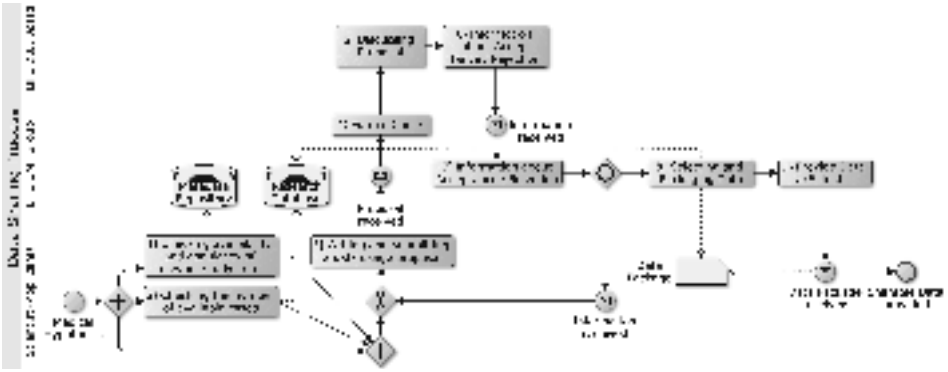


Fig. 2: Most relevant Activities of the Sharing Process in LIFE

Once a scientist found relevant data are structurally available, a next step (activity 2) is to count relevant cases (participants and their study events) according to the scientific hypothesis. The scientist can then analyze the number of cases to be included in the intended analysis before data is selected and provided by the DMT group. This saves time and resources for both sides, the scientist and the LIFE Center since each scientist can look for the availability of relevant data without any interaction with the LIFE Center (DMT group). Moreover, checking the case number allows to verify whether the analysis can be performed with a proper statistical power.

When relevant study items are available and the case number is sufficient, a scientist writes a Data Usage Proposal to request data for the intended analysis. In LIFE, we provide a template for writing such proposals that helps scientists and the LIFE Center to give / receive the right information. This information includes the scientific background, the medical hypothesis that should be analyzed, the analysis plan, and the data specification (see above). Moreover, the scientist need to inform the stakeholder, i.e., the PIs of the corresponding LIFE study from that data are requested; they need to sign the proposal, too. Finally, the scientist sends the proposal to the DMT group at the LIFE Center. The DMT group (activity 4) formally checks the proposal, e.g., whether all mandatory input fields are filled and that all relevant person have signed the proposal. Next, the DMT group provides the proposal to the DUA board checking (activity 5) the scientific goal and its consistency with the analysis plan and requested data. The DUA board decides whether the proposal is accepted and, thus, activated or need to be clarified in some points. In the latter case, the applicant can change

the proposal and resubmit it. A proposal is activated for an initial period of time but can be yearly prolongated at the end of each period. An accepted proposal creates immediately an analysis project for which data will be shared with the applicant. In section 3.2 (Figure 4), we show more precisely transition states a proposal (and analysis project) can have. At the end of each meeting, the DUA board informs the DMT group about decision regarding each discussed proposal that distributes this information to each applicant (activity 7).

Using the data specifications of the Data Usage Proposal, the DMT group can select, prepare (or pre-compute if necessary) and package the requested data for sharing (activity 8). The data package can then be transferred to the applicant (activity 9).

3 LIFE IT Infrastructure for Data Sharing

Subsequently, we highlight aspects of the LIFE IT infrastructure for sharing data. After giving a high level overview about the infrastructure, we outline the proposal management.

3.1 Overview

Figure 3 shows an high level overview over the main parts of the LIFE IT infrastructure according to data capturing (left), to data integration / harmonization (center), and to querying and sharing study data (right); information systems for ambulance management (e.g., participant tracking and invitation) and managing bio-samples, i.e., laboratory information system are suppressed for simplicity. There are different kinds of information systems producing and are used to capture data. Electronic data capturing systems (EDC) provide online forms allowing to electronically capture study data. Paper based forms are used in situations and for participants who prefer paper instead of online surveys. In LIFE, we design such paper based forms using a software system allowing scanning and verifying filled paper forms afterwards. Simultaneously, there are examinations in that medical devices producing data files, directories of data files, and data within databases. Moreover, there are miscellaneous systems managing data in spreadsheets and desktop databases. Structured data of such sources are centrally integrated into a research database whereas unstructured data (e.g., images, image sequences, videos, etc.) are systematically managed in a central file system. Centrally managed data can be curated, e.g., excluding data from specific participants and manipulating data. All curations are specified by the Data Curation App that documents all curations for later reuse. A Metadata Repository collects metadata describing the structure and the matter of centrally managed data.

Centrally managed and integrated study data that are described by metadata are the basis for sharing in LIFE. We have recently developed two central information systems for sharing LIFE study data. The first is the LIFE Data Portal (LDP) allowing a scientist to execute feasibility queries. Such queries focus on metadata and study data available in LIFE. The LDP provides metadata on different levels. Firstly, there are metadata on study level, i.e., the objective and description of the study, principal investigators, contact persons, cohort population source and size etc. Secondly, metadata on assessment level describe the intention

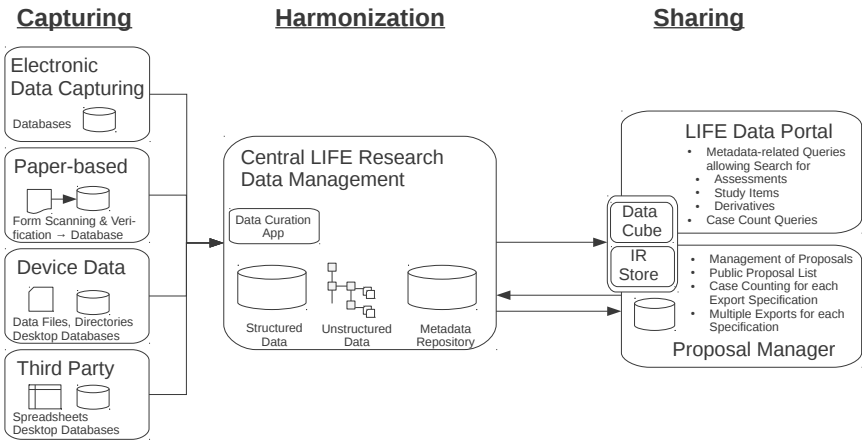


Fig. 3: Overview about LIFE Infrastructure for Capturing, Harmonization and Sharing Study Data

of each examination form, i.e., interview survey, questionnaire etc., and give further details about contact persons who were responsible and taking care data capturing. The latter is importantly for scientists in analysis projects, especially when intermediate or final results need to be explained and interpreted. On the third level, the LDP provides metadata about study items of each assessment, such as body height and weight of an anthropometry assessment. In LIFE, this metadata include item descriptions, the data type (text, number, date), the scale (metric, nominal, ordinal, ...) the item follows and the associated code list when a study item is of categorical scale. Using this metadata a scientist get insights into assessments of a study and can look for study items that are relevant for the intended analysis. The LDP provides search and browsing functions according to metadata. Moreover, the LDP allows case count queries, i.e., a scientist can use metadata to formulate queries about study data to find out how many visits and study participants are available. With both, searching / browsing in metadata and case count querying, the LDP offers more functionalities than similar software tools, such as i2b2 [Mu09, We09], that is mainly focused on querying a single or distributed sources.

We provide and use the LIFE Proposal Manager (LPM) in LIFE for data sharing. The goal of LPM is to manage systematically all Data Usage Proposals that have been submitted to LIFE. The LPM annotates each proposals by a title, principal investigators, the current status, the date the proposal has been submitted, the analysis project has been started, and data have been shared etc. For these functions, the LPM is primarily used by the DMT group, internally. Moreover, we record all status of a proposal (c.f. next subsection 3.2), in particular, when the DUA board decides to activate a proposal and, therefore, to initiate a new analysis project. We also use the LPM at the interface to interested scientists by providing a list of all proposals (i.e., proposal titles), their principal investigators and the current state. The objective of this list is to show what medical hypotheses have been

worked on and are currently work in progress. Moreover, the list can also be used to find collaboration partners by taking principal investigators per topic into account.

Both, the LIFE Data Portal and the LIFE Proposal Manager, utilize a Data Cube and IR (Information Retrieval) Store for searching in metadata and executing feasibility queries. The data cube is mostly inspired by the data warehousing approach and contains structured study data in a multidimensional model. We use the Datomic database system [6] for managing the data cube that is nightly feeded with data from the central Research Database. Metadata are managed in both, the Datomic Database and an Elasticsearch system (IR Store) [7]. The first is used for browsing and for querying study data whereas the latter allows similarity based searching for assessments and study items taking their titles and descriptions into account.

3.2 Proposal Management

A central function of the LIFE Proposal Manager is the management of Data Usage Proposals. More than 400 of such proposals have been submitted in LIFE. The first has been activated in January 2012; the submission frequency per month raised from 2 in 2012 to 6 in 2017 (for four and a half months in 2017). Currently, most proposals are timed-out or closed, only one proposal has been rejected whereas 53 analysis projects are currently active (as of May, 2017). Therefore it is important to track the status of each proposal over its life time. Figure 4 shows the state transition graph the LPM follows. Currently, a new proposal is submitted as hard copy, yet, since each proposal is to sign by all partners of the intended analysis project as well as the principal investigators of the LIFE study from which data are requested. Simultaneously, the proposal is created within the LPM system; each new proposal is attached with the state “submitted”. When the proposal arrives the DMT group, its state is changed to “in review”. This holds for both, the formal check by the DMT group and the discussion round of the DUA board. As a result of a board meeting, the proposal is “activated” or need some clarifications. In the latter case, the proposal can be changed and resubmitted. In the meanwhile, the proposal is stated as “change requested”. In very rare cases, a proposal is rejected, e.g., when the proposal violates ethical or legal constraints or is not in line with principal investigators. Activating a proposal creates an analysis project. Data are only shared for such projects and, thus, activated proposals (see Figure 2). Each analysis project is valid for a specific time. During this time, the medical hypothesis and, therefore, the analysis goal is reserved for the applicant and, thus, each new proposal with the same objective will be rejected. The initial time interval for an analysis project is one year but can can be prolongated before the project runs out of time. The “timed out” state is marked to reminding applicants to prolongate his/her projects or to “close” them. This is the case when the hypothesis is validated or proved as wrong. Similarly, a project can be “canceled” at any time.

[6] http://www.datomic.com

[7] https://www.elastic.co

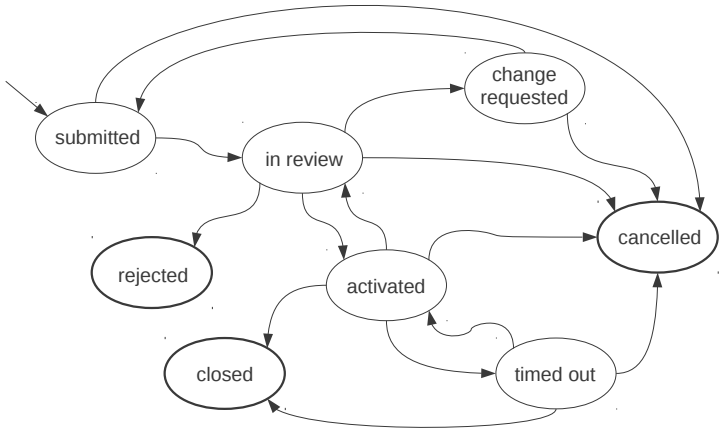


Fig. 4: States and their Transitions of Data Usage Proposals

4 Selecting and Packaging Data

Most scientists expect to receive data files containing the requested data; only few applicants wanted to get access on data using database API. Therefore, we export data in most cases to data files; for all other we create a user-specific database schema into which relevant data of the central Research Database are copied. Before data are exported or copied into the new database schema, all internal pseudonyms (SIC) are replaced by new proposal specific pseudonyms. With that, we impede merging data from two or more proposals by the same or multiple scientists and, thus, building shadow databases. Moreover, most scientists prefer a single data file containing data of different assessments in a joined manner. The intention is to directly load this single file into the analysis tools of their choice, such as R, SPSS etc., and can start the analysis. Each applicant receives data files and annotated case report forms (aCRF) explaining the meaning and representation (data type, code lists etc.) of assessments and study items. We automatically derive such aCRFs from the our Metadata Repository. Additionally, we create code books for R and SPSS, i.e., values of categorical items are directly associated with labels (e.g., gender: 1 - male, 2 - female) which can then be used in analyses and any visualizations instead of raw codes.

We started with an ontology based selection and retrieval of study data [UK15] which can then be exported into data files. This approach was implemented as Protegé Plugin [Mu15]. This tool is a desktop software and was mainly used by the DMT group only. However, as the total number of proposals and their frequency per month increase there is the need for a collaborative (web-based) software that is used by multiple users including all central groups (not only the DMT group), applicants and further interested scientists. Therefore, we are working on a new module extending the LIFE Proposal Manager allowing to specify data export specifications. Such specifications are the basis for data exports from databases into data files which are then transferred to the applicant. The goal is then, that the applicant can download the data directly from the LPM. Like the LIFE Data Portal, the LPM uses

queries for export specifications regarding to available metadata on assessment and on item level.

5 Conclusion and Outlook

In this paper, we reported about the data sharing approach we follow at the LIFE Research Center for Civilization Diseases. The sharing approach is implemented by a process and organizational structures, i.e.., groups, at the LIFE Center. Both, process and organizational structures are inspired by the OAIS reference model and are supported by a complex IT infrastructure. We provide the LIFE Data Portal for running feasibility queries taking metadata and study data into account. Each scientist of the Medical Faculty at the University Leipzig can execute such queries without any interaction with the LIFE Center to get insights what kind of data have been captured in LIFE or for finding relevant data that need to be included in an analysis project. Data are then requested by a Data Usage Proposal. The LIFE Proposal Manager is used to manage fast increasing number of proposals in LIFE. Currently, we are working on a new module allowing to export data from the LIFE Research Database collecting and integrating all captured data in LIFE.

Acknowledgment

This publication is supported by LIFE - Leipzig Research Center for Civilization Diseases, Universität Leipzig. LIFE is funded by means of the European Union, by the European Regional Development Fund (ERDF) and by means of the Free State of Saxony within the framework of the excellence initiative.

References

[Ch14a] Chalmers, I; Bracken, MB; Djulbegovic, B; Garattini, S; Grant, J; Gülmezoglu, AM et al.: How to increase value and reduce waste when research priorities are set. The Lancet, 383(9912):156–165, 2014.

[Ch14b] Chan, AW; Song, F; Vickers, A; Jefferson, T; Dickersin, K; Gøtzsche, PC; Krumholz, HM; Ghersi, D; Worp, HB: Increasing value and reducing waste: addressing inaccessible research. The Lancet, 383(9913):257–266, 2014.

[Co14] Consortium, German National Cohort (GNC): The German National Cohort: aims, study design and organization. European Journal of Epidemiology, 29(5):371–382, 2014.

[Gl14] Glasziou, P; Altman, DG; Bossuyt, PP; Boutron, I; Clarke, M; Julious, S; Michie, S; Moher, D; Wager, E: Reducing waste from incomplete or unusable reports of biomedical research. The Lancet, 383(9913):267–276, 2014.

[Gr14] Grabe, HJ; Assel, H; Bahls, T et al.: Cohort profile: Greifswald approach to individualized medicine (GANI_MED). Journal of Translational Medicine, 12:144, 2014.

[Io14] Ioannidis, JPA; Greenland, S; Hlatky, MA; Khoury, MJ; Macleod, MR; Moher, D; Schulz, KF; Tibshirani, R: Increasing value and reducing waste in research design, conduct, and analysis. The Lancet, 383(9912):166–175, 2014.

[Jo01] John, U; Greiner, B; Hensel, E et al.: Study of Health In Pomerania (SHIP): a health examination survey in an east German region: objectives and design. Sozial- Und Präventivmedizin, 46(3):186–194, 2001.

[Ki17] Kirsten, T; Kiel, A; Rühle, M; Wagner, J: Metadata Management for Data Integration in Medical Sciences - Experiences from the LIFE Study. In: Proc. 14th Conf. of Database Systems for Business, Technology and Web (BTW). 2017.

[Lö15] Löffler, M; Engel, C; Ahnert, P et al.: The LIFE-Adult-Study: objectives and design of a population-based cohort study with 10,000 deeply phenotyped adults in Germany. BMC Public Health, 15, 2015.

[MPL16] Meisinger, C; Peters, A; Linseisen, J: From the MONICA-project via KORA to the NAKO-study: Practical Utility of Epidemiological Studies in Augsburg Region. Gesundheitswesen (Bundesverband Der Ärzte Des Öffentlichen Gesundheitsdienstes (Germany)), 78(2):84–90, 2016.

[Mu09] Murphy, S; Churchill, S; Bry, L; Chueh, H; Weiss, S; Lazarus, R; Zeng, Q; Dubey, A; Gainer, V; Mendis, M et al.: Instrumenting the health care enterprise for discovery research in the genomic era. Genome research, 19(9):1675–1681, 2009.

[Mu15] Musen, MA: The Protégé project: A look back and a look forward. AI matters, 1(4):4–12, 2015.

[Po17] Poulain, T; Baber, R; Vogel, M; Pietzner, D; Kirsten, T; Jurkutat, A et al.: The LIFE Child study: a population-based perinatal and pediatric cohort in Germany. European Journal of Epidemiology, 32(20):145–158, 2017.

[Sa14] Salman, RA; Beller, E; Kagan, J; Hemminki, E; Phillips, RS; Savulescu, J; Macleod, M; Wisely, J; Chalmers, I: Increasing value and reducing waste in biomedical research regulation and management. The Lancet, 383(9912):176–185, 2014.

[Ta16] Taichman, DB; Backus, J; Baethge, C; Bauchner, H; de Leeuw, PW et al.: Sharing Clinical Trial Data — A Proposal from the International Committee of Medical Journal Editors. New England Journal of Medicine, 374(4):384–386, 2016.

[Th12] The Consultancy Committee for Space Data Systems: Recommended Practice, CCSDS 650.0-M-2 (Magenta Book) Issue 2. http://public.ccsds.org/publications/archive/650x0m2.pdf, Accessed: 10.05.2017.

[UK15] Uciteli, A; Kirsten, T: Ontology-based retrieval of scientific data in LIFE. In: Proc. Workshop on Data Management for Life Sciences, attached at 13th Conf. of Database Systems for Business, Technology and Web (BTW). 2015.

[We09] Weber, GM; Murphy, SN; McMurry, AJ; Macfadden, D; Nigrin, DJ; Churchill, S; Kohane, IS: The Shared Health Research Information Network (SHRINE): A prototype federated query tool for clinical data repositories. J Am Med Inform Assoc, 16:624–30, 2009.

Der Arbeitsplatz der Zukunft 2.0

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 1395

Der Arbeitsplatz der Zukunft 2.0

Jan Haase1[1], Gerhard Leitner[2] und Raphael Zender [3]

1 Einleitung

Die Auseinandersetzung mit der Digitalisierung des Arbeitsplatzes der Zukunft hat nicht an Aktualität und Relevanz verloren. Ein Indikator dafür ist unter anderem, dass aufgrund des positiven Echos 2016 auch für die Informatik 2017 ein Call for Papers zum Thema ausgeschickt wurde, und die Anzahl der Einreichungen eine neuerliche Ausrichtung des Workshops ermöglichen. Daher auch die vom aktuellen Trend 4.0 abweichend gewählte Kardinalzahl 2.0. Die zentrale Zielsetzung der Digitalisierung von Arbeitsplätzen ist es, das Arbeiten zu erleichtern, die Produktivität der Mitarbeiter zu fördern, zugleich aber auch die Flexibilität und Kosteneffizienz für das Unternehmen zu erhöhen. Vom klassischen Arbeitsplatz wegführende Trends wie Consumerization und Mobilität machen einschneidende Änderungen notwendig um den Arbeitsplatz der Zukunft zu realisieren.

Strategien wie Bring-Your-Own-Device (BYOD) zeigen Möglichkeiten auf, den neuen Anforderungen zu begegnen. Mobiltelefone, Tablets und Laptops als mobile Geräte ermöglichen es der beruflichen Tätigkeit nahezu überall nachzugehen, beispielsweise unterwegs während einer Dienstreise. Der ehemals feste Arbeitsplatz, den das Unternehmen seinen Mitarbeitern zur Verfügung stellt, wandelt sich zu einem Arbeitsplatz bestehend aus zahlreichen mobilen Endgeräten, von denen zumindest ein Teil aus dem Privatbesitz des Mitarbeiters stammt.

Diese neuen Entwicklungen bringen aber nicht nur Vorteile mit sich, bzw. stellen in der Regel keine endgültigen und umfassenden Lösungen dar. Mobile Arbeitsgeräte sind in Gewicht und Größe minimiert, das mündet in einer Reihe von Ressourcenbeschränkungen, die das klassisch feste Arbeitsplatzrechensystem nicht hatte. Die Größenreduktion der Geräte resultiert in kleineren Displays mit besonderen Anforderungen an die Darstellung. Außerdem führt sie zu einer reduzierten Akkukapazität, die ihrerseits Beschränkungen in Laufzeit und Leistungsfähigkeit der Systeme verursacht. Diese und andere Rahmenbedingungen haben wesentlichen Einfluss auf die Architektur des zukünftigen Arbeitsplatzes. Nicht zuletzt bergen die Vermischung zwischen privaten und beruflichen Endgeräten und deren Nutzung sowohl in geschützten als auch öffentlichen Netzwerkinfrastrukturen nicht unwesentliche Sicherheitsrisiken. Mit

[1] Universität zu Lübeck, Institut für Technische Informatik, Ratzeburger Allee 160, 23562 Lübeck, haase@iti.uni-luebeck.de
[2] Alpen Adria Universität Klagenfurt, Institut für Informatik-Systeme, Universitätsstrasse 56-67, 9020 Klagenfurt, Österreich, gerhard.leitner@aau.at
[3] Universität Potsdam, Institut für Informatik und Computational Science, August-Bebel-Str. 89, 14482 Potsdam, zender@uni-potsdam.de

doi:10.18420/in2017_139

Perspektiven auf dieses breite Spektrum an Möglichkeiten und Herausforderungen beschäftigen sich die eingereichten Beiträge.

1.1 Wettbewerb

Um die Wichtigkeit und Aktualität des Themas Arbeitsumgebung der Zukunft zu unterstreichen, wurde im Kontext des Workshops erstmals ein Wettbewerb ausgeschrieben. Der Wettbewerb soll den Arbeitsplatz der Zukunft als ein hochaktuelles Querschnittsthema verschiedener Fachdisziplinen hervorheben, das wie kaum ein anderes Thema die einzelnen Herausforderungen der zunehmenden Verschmelzung bisher getrennter Technologien und Fachgebiete erforderlich macht. Die Ausprägungen von Arbeit sind rasanten Veränderungsprozessen unterworfen und mit ihnen auch die Tätigkeiten und Anforderungen an moderne Arbeitskräfte. Doch wie sehen die resultierenden Arbeitsplätze aus? Neben einer Vielzahl unterschiedlicher Aspekte zum Arbeitsplatz der Zukunft sind sinnvolle Gesamtkonzepte derzeit Mangelware. Gesucht wurden im Rahmen dieses Wettbewerbs daher sowohl konkrete als auch visionäre Ideen für zukünftige Arbeitsplätze als umfassende Gesamtkonzepte. Ein Komitee aus Experten bewertete anhand eines vorab veröffentlichten Bewertungsrasters die eingereichten Beiträge. Es wurden die besten zwei Beiträge prämiert, die in einer speziellen Session des Workshops durch die Preisträger vorgestellt werden.

2 Akzeptierte Workshop-Beiträge

Die Einreichungen zum Workshop lagen entweder als Extended-Abstract oder als Draft-Version vor und wurden im Zuge eines single-blind Begutachtungsprozesses von mindestens 3 Gutachtern bewertet. Die folgenden Themen und Beiträge werden im Rahmen des Workshops vorgestellt:

Der in englischer Sprache verfasste Beitrag von Hausberg et al. beschäftigt sich mit der Nutzung eines Video-Konferenz Systems in einem Versicherungsunternehmen. Obwohl die Vorzüge solcher Systeme die Flexibilität der Arbeit im Sinne der einleitend skizzierten geänderten Anforderungen verbessern - z.B. hinsichtlich reduzierter Notwendigkeit physisch im Büro zu sein - hielt weniger als die Hälfte der Teilnehmer der untersuchten Stichprobe die Software in Verwendung. Es wurden deshalb Akzeptanzfaktoren wie Selbstwirksamkeit, Motivation, Risiko und Vertrauen hinsichtlich ihrer Beeinflussung der Systemverwendung analysiert. Die Ergebnisse waren teils erwartet, teils überraschend und werden im Detail im Rahmen des Workshops vorgestellt.

Die Arbeit von Huck-Fries et al. widmet sich einer anderen Form der Flexibilisierung. In der Instandhaltungsbranche verbessern Datenbrillen die Möglichkeit der freihändigen Bedienung elementare Vorteile in Bezug auf die Geschwindigkeit, Fehlerfreiheit und Benutzerfreundlichkeit. Insbesondere im Kontext der Wartung bieten Datenbrillen die

Möglichkeit, Mitarbeiter mit Schritt-für-Schritt Anleitungen zu unterstützen, ohne dass diese ihre Arbeit unterbrechen müssen. Die Autoren sehen jedoch Barrieren in der Interaktion, unter anderem durch das Fehlen empirischer Nachweise, welche Bedienmodalität mit der Datenbrille sich für die Arbeitsweise von Servicetechnikern eignet. Im Rahmen einer Studie mit 130 Probanden wurden unterschiedliche Interaktionsmodalitäten evaluiert und Kriterien wie Beanspruchung, Benutzerfreundlichkeit und Zeit erhoben. Die Resultate zeigten, dass Sprache die Eingabemethode mit der niedrigsten Beanspruchung und höchsten Benutzerfreundlichkeit ist. Die gewonnenen Erkenntnisse sollen als Basis für weitere Arbeiten in der Forschung in der Praxis dienen.

Meyer et al. widmen sich in ihrem Beitrag der Planung des Einsatzes von Personalressourcen. Flexibilität und Individualität sind in aktuellen Herangehensweisen eingeschränkt, da persönliche Präferenzen nur bedingt berücksichtigt werden (können) und Pläne "von oben herab" vorgegeben werden. Die Partizipation der Mitarbeiter bei der Erstellung von Plänen würde sich positiv auf die Zufriedenheit auswirken und sollte daher unterstützt werden. Diese organisatorisch anspruchsvolle Erweiterung der Planerstellung soll mit der Software VeraPlan ermöglicht werden, die im Rahmen des Workshops im Detail vorgestellt wird.

In einem gänzlich anderen Bereich ist der Beitrag von Leitner et al. angesiedelt. Bei der Thematisierung von Arbeit wir meist nur an den Brotberuf gedacht, kaum aber an den Arbeitsplatz den nahezu jeder zusätzlich hat – den Haushalt. Auch der ist jedoch stark einer fortschreitenden Digitalisierung unterworfen, zum Beispiel durch aktuelle Entwicklungen wie dem Internet der Dinge (IoT). Im Rahmen des Workshops werden Chancen und Herausforderungen aufgezeigt, die sich durch Digitalisierung am Arbeitsplatz Haushalt zukünftig ergeben werden.

Haase beleuchtet in seinem in englischer Sprache gehaltenen Beitrag die Möglichkeiten, Büroarbeitsplätze durch den Einsatz von Augmented Reality (AR) zu erweitern und zu verändern. Diese Technologie könnte den gewohnten Aufbau von Schreibtischen mit Bildschirmen unnötig machen. Zudem kann AR in Katastrophenfällen den Rettern, z.B. Feuerwehrkräften, die gerade benötigten Informationen zukommen lassen, beispielsweise den Ort von Brandherden und Opfern, Wegweiser in verwinkelten Gebäuden, etc.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 1399

Employees' Adoption of Workplace Innovations: An Investigation of Self-Efficacy, Motivation, Trust and Risk Propensity

Piet Hausberg[1], Marcus Hülsdau[2], Krystallia Moysidou[3] and Frank Teuteberg[4]

Abstract: In this study, we investigate the factors at employee level that influence the adoption of a customer-facing video conferencing software in an insurance company. Despite the associated benefit of significantly reduced driving times for the insurance agents, less than half of our sample finally adopted the software. We analyse the employees' self-efficacy, intrinsic and extrinsic motivation, risk propensity as well as trust in superiors as factors influencing their adoption behaviour. Our findings indicate that risk propensity and trust in superiors influence the behaviour only insignificantly, whereas self-efficacy as well as intrinsic and extrinsic motivation have an impact on the adoption behaviour. Surprisingly though, the extrinsic motivation points into the opposite direction as hypothesised. Employees who score high on extrinsic motivation are less likely to adopt this workplace innovation.

Keywords: workplace innovation, self-efficacy, intrinsic motivation, extrinsic motivation, trust, risk propensity, innovation adoption.

Introduction

The workplace of the future can take many forms. A particularly important one that emerges already since several years and still gains importance is the teleworking job. It depends on a digital environment where the employee is not bound to a certain physical space. This can be an important benefit, for example, for employees with children who can thus work from home. Likewise, jobs involving frequent travelling due to a reliance on face-to-face interactions with suppliers, co-workers, partners, or clients can benefit hugely through increased efficiency. However, the underlying technology shapes the digital environment that permits this increased efficiency.

Therefore, in this paper, we analyse some major determinants of the acceptance of a particularly fundamental workplace innovation. We chose the case of insurance agents, who frequently undertake business trips in order to consult or to acquire customers.

[1] Universität Osnabrück, Technologie- und Innovationsmanagement, Rolandstr. 8,, 49078 Osnabrück, piet.hausberg@uni-osnabrueck.de
[2] Universität Osnabrück, Unternehmensrechnung und Wirtschaftsinformatik, Katharinenstr. 1, 49069 Osnabrück, marcus.huelsdau@uni-osnabrueck.de
[3] Universität Hamburg, BWL/Digitale Märkte, Von-Melle-Park 9, 20146 Hamburg, krystallia.moysidou@wiso.uni-hamburg.de
[4] Universität Osnabrück, Unternehmensrechnung und Wirtschaftsinformatik, Katharinenstr. 1, 49069 Osnabrück, frank.teuteberg@uni-osnabrueck.de

doi:10.18420/in2017_140

While some people enjoy traveling, the majority experiences the travel time as stressful and unproductive. Moreover, valuable human resources specialized in sales are bound to travel. However, simple phone calls could not substitute for face-to-face interactions, because the lower information richness of this means of communication does not establish sufficient levels of inter-personal trust to successfully acquire and manage customers. To address this issue, a European insurance company introduced a video conferencing software, with which the agents can meet their clients virtually.

In order to increase efficiency, the adoption of such workplace innovations is vital for any firm. Information systems and in particular digital process innovations allow for an increasing share of efficiency gains in almost any industry [Ji16]. While there is consensus on the importance of adopting digital innovations [Oe16], most companies face significant difficulties, especially because employees experience the adoption process as complex and slow. Over the past decade, researchers within the innovation adoption community have embarked on conceptualizing, empirically validating and recently extending various models of individual level innovation technology adoption and usage. There are a variety of models that attempt to identify the key antecedent constructs affecting the adoption of technological innovations in general [Ma15]. This study investigates the factors at employee level affecting the adoption of a digital innovation in a service firm.

Theoretical Background

Self-Efficacy

Self-efficacy refers to the "beliefs in one's capabilities to organize and execute the courses of action required to produce given attainments" [Ba97]. This is particularly important for the adoption of technology innovations, as a strong perceived self-efficacy increases the strength of coping mechanisms in case of obstacles. Consequently, a participant with a high self-efficacy will persist when facing obstacles or aversive experiences [Ba97]. Thus, it is no surprise that a strong self-efficacy increases the persistence with which a goal is pursued, as it directly influences the efficacy expectation. Someone who expects to succeed will always try harder than someone who expects to fail.

Kulviwat et al. analyse self-efficacy as an antecedent to cognition and its effect on technology adoption as well as its direct effect on the attitude towards technology adoption. While the direct effect proves to be insignificant, there is a considerable influence via cognition and affect [Ku14]. Waheed et al. analyse the effect of self-efficacy on the attitude towards e-book readers and consider it to be significant [Wa15]. The different findings of these studies might be due to the slightly different research settings. Therefore, this study aims to investigate the direct influence of self-efficacy on innovation adoption.

Motivation

Motivation forms the mechanism of human behaviour [De87], but it is also a key determinant of information technology acceptance behaviour [Mo01, Te99]. One of the key theories on human motivation is the self-determination theory [De87] according to which behaviour can be both extrinsically and intrinsically motivated. Extrinsic motivation is activated by external incentives, such as a "promised reward, praise, critical feedback" [Am94] and can be either material (e.g. financial rewards) or immaterial (e.g. career opportunities and awards) [Fr02]. In contrast, intrinsic motivation stems from "the organism itself, arising and persisting in the absence of external events that could be easily identified as the putative rewards or punishments motivating these actions" [Le97]. In this case, motivation comes from the pleasure one can receive from the task itself, from completing the task or just from working on a task[De87].

Furthermore, intrinsic and extrinsic motivation have a significant impact on the decision to adopt technology innovations, and many researchers ascertain their roles in technology innovation adoption [Hs04, Le05, Wa15]. More specifically, in order to provide a broader view and a better explanation of innovation adoption, researchers tested the influence of motivational factors and found that peoples' usage and acceptance of technology innovations is highly related to the level of extrinsic and intrinsic motivation [Te99]. Moreover, Davis recognized the importance of motivation and extended his initial TAM model by including motivational factors [Da92]. According to his extended TAM model, perceived usefulness is a form of extrinsic motivation and perceived enjoyment a form of intrinsic motivation.

Risk and Trust

Trust and innovation are inevitably interlinked. Irrespective of the benefit that an innovation bears, potential adopters have to develop a certain level of trust, which then compensates for the level of risk that is naturally inherent in the adoption. Taking a decision that involves a meaningful degree of risk of opportunistic behaviour is based on two conditions: (1) the decision maker exhibits a sufficient degree of risk propensity [Pa96], or (2) the decision maker can trust the other actors. Risk propensity is defined "as the cumulative general tendency of the individual to either take or avoid risks and influences how a decision maker evaluates risk and decides what risks are acceptable" [Si92]. Trust can be defined as the subjective probability by which employees believe that the technology innovation is capable of facilitating their tasks according to their expectations [Ba02]. Mayer et al. [Ma95] established several separate dimensions of trust. Hence, trust does not only refer to the capability of an innovation to perform a task (trust in competence), but also to the user's willingness to perform this task to the benefit of and/or as expected by the trustor (trust in benevolence) as well as to the trustees' behaviour matching the declared values (trust in integrity).

However, the trust placed in an artefact is violated, if the artefact does not work properly

or turns out to be less effective than others are. In case of a malfunction or lack of effectiveness, the employees are dependent on the way in which their superiors solve the problem. Either the superiors blame the employees for their adoption decision, or they provide advice on how to cope with the consequences. This demonstrates the connection between the risk involved with an adoption and the trust in superiors.

The importance of trust in the manager or leader in general is widely recognized [Di02, Ma05]. Stewart argues that trustors might transfer trust from a trusted entity to an unknown target if they perceive the latter as related to the trusted source. Therefore, trust transfer from one entity to another hinges on the unknown target being perceived as related to the source of the transferred trust [St03]. The effects of transferring trust are emphasized within the online world [Lu11, Wa13]. Studies reveal that transfer of trust occurs cognitively as consumers associate an unknown web site with a known, trusted one. Online consumers perceive the web sites as familiar and decide to use it. In this way, the unknown web site gains legitimacy through the trusted site.

Hypotheses and Conceptual Model

As there are already sufficient studies validating that the perceived qualities of a technology influence the user's attitude towards usage, we deliberately focus on the user himself. We investigate the already explained self-efficacy, the user's motivation as well as his/her outlook on the environment.

Fig. 1 shows the research model used in this study.

Self-efficacy is a judgment about the abilities of an individual as opposed to the perceived ease of use of the TAM, which is a judgment about the qualities of a technology. In terms of innovation adoption, the judgments individuals make about their capability for completing technology tasks are linked to future technology use [Ve00]. Therefore, we hypothesise that:

H1: *There is a positive relationship between an employee's perceived self-efficacy and his/her innovation adoption behaviour.*

Hansen and Levin found a highly significant connection between an employee's extrinsic motivation and his/her intention to use social media technology for work purposes [Ha16]. Respectively, we expect the same results and hypothesise that:

H2: *There is a positive relationship between an employee's extrinsic motivation and his/her innovation adoption behaviour.*

In the proposed model, we follow [Ve02], who redefined the TAM. This resulted in a model that includes intrinsic motivations as a predictor of behavioural intention to use. We hypothesize that intrinsic motivation influences innovation adoption. More specifically, we assume that:

H3: *There is a positive relationship between an employee's intrinsic motivation and his/her innovation adoption behaviour.*

We draw on [St03] work on trust transference and argue that trust in the superior is an adoption factor. In other words, employees who trust their superior are more likely to adopt and use the innovation that the manager proposed because of its perceived association with the trusted manager. Following the transference logic, we hypothesize that:

H4: *There is a positive relationship between an employee's trust in his manager and his/her innovation adoption behaviour.*

Risk propensity is defined as the general tendency of individuals to take chances with respect to risk of loss. [Si92]. As the adoption of a customer facing video chat software bears the risk of alienating the customer, we assume that:

H5: *There is a positive relationship between an employee's risk propensity and his/her innovation adoption behaviour.*

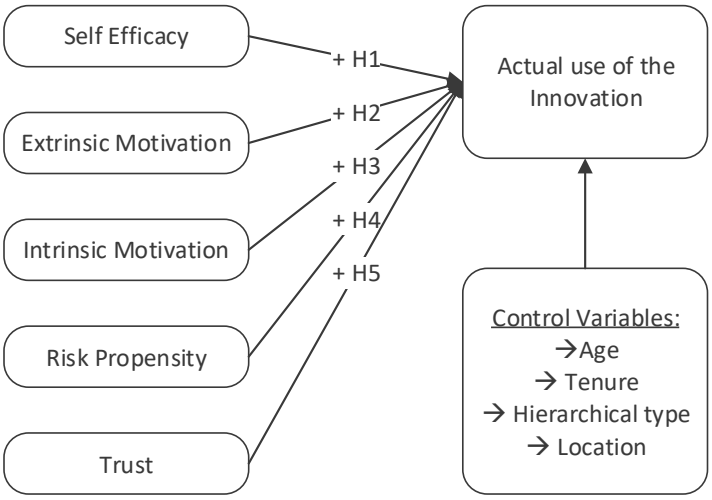


Fig. 1: Research Model

Methodology

Operationalization

Dependent Variable: In order to exclude those effects that are not resulting from the individual, we focus on one particular process innovation only. More specifically, the

regarded innovation is a software that permits to interact with clients virtually through a combination of video call and chat as well as tools to trace auxiliary activities on the site of the sales agent. Although this does not necessarily constitute the only way of client-agent interaction, it can be an important complement. We asked the sales agents how often they use the digital process innovation (0: never, 1: once or twice a month, 2: once or twice a week, 3: once or twice a day). Since we observed that only two respondents use the innovation daily and that there is a bias towards occasional use (once or twice a month), we decided to dichotomize the dependent variable. We hence coded 0 for no use at all and 1 for any kind of frequency indicated (*BINUSE*). This resulted in a sufficiently balanced sample.

Self-efficacy (SELF). Previous studies established different operationalisations for the concept of self-efficacy. The scales in these studies sometimes exhibit many items, like in the case of Sherer et al., who chose two factors, one of which already included 17 items [Sh82]. Since all of our participants are very busy, we opted for a more concise method. For the questionnaire we adopted the perceived competence dimension from The Intrinsic Motivation Inventory by McAuley et al. [Mc89]. The selectable options were: “I think I am really good at using the video conferencing software for sales purposes” (SELF1), “I am worried because of the usage of the video conferencing software” (SELF2), “Compared to other agents, I believe to be good at using the video conferencing software” (SELF3) and “The use of the video conferencing software in the sales process does not make me nervous” (SELF4). For analysis purposes the results of SELF2 were recoded to meaningfully fit the direction of the other variables.

Extrinsic Motivation (MOTEX). The scales for extrinsic and the scale for intrinsic motivation are based on items developed by Tremblay et al. [Tr09]. Following the introductory text: “For which reasons would you use the video conferencing software?”, we asked the participants to indicate on a seven point Likert Scale “Because of the expected income” (MOTEX1) and “Because I want to be very successful in my Job, otherwise I’d be very disappointed with myself” (MOTEX2).

Intrinsic Motivation (MOTIN). Here again, we used items developed by Tremblay et al. by adapting the following two items: “Because I derive much pleasure from learning new things.”(MOTIN1) and “For the satisfaction I experience from taking on interesting challenges.” (MOTIN2).

Risk Propensity (RISK). In order to measure risk propensity, we recurred to the scale developed by Pennings and Smidts [Pe00]. We measured the following three items: “I am willing to take high financial risks in order to realize higher average yields.” (RISK1), “I like taking big financial risks” (RISK2) and “I am ready to risk losing money, if there is also the chance to win money” (RISK3).

TRUST. Webber & Klimoski developed and validated comprehensive scales for cognitive and affective trust [We04]. As the distinction between the two kinds of trust is not important for answering our questions, we combined two items of each scale to one factor. Thus, from the cognitive scale we used: “I know that if I contacted my superior in

the organization, he/she would provide immediate and useful information." (TRUST1), "I can rely on my superior to not make my job more difficult." (TRUST2); and from the affective scale: "I can share strategic information about my organization with my superior without any concerns" (TRUST3) and "If I share problems with my superior, I believe that he/she will respond constructively and caringly" (TRUST4).

We also included several control variables. Since we investigate individual level factors, it is important to include basic demographics as controls. We included age as the variable (AGE), the employee's tenure in the current function as sales agent at this firm *(TENURE)*, his/her hierarchical type being either major agent or general agent *(TYPE)* and his/her type of territory or location being countryside, small to medium town or big city *(LOC)*. Age and tenure were asked as intervals (18 – 25 years, 26 - 35 years…). In order to reduce the amount of parameters to be estimated in the regression, we recoded age and tenure into metric variables by coding the average of each interval into the variable. Additionally, the LOC variable was recoded into a dichotomous form, to only distinguish between city and countryside, as very few participants worked in big cities.

Sample and Data

We collected our data from a single company, namely a European insurance company, which implies that a sweeping generalization of our results is not possible. However, this approach allows us to control the effects of the firm as well as the software and thus to fully focus on the effects at employee level. The insurance company employs thousands of sales agents, the vast majority of which work on own account. Thereby the sales agents exclusively sell the company's products and do not offer directly competing services. Although they operate rather autonomously within their exclusive geographical territory, the sales agents are part of a hierarchical organizational structure and are thus subordinated accordingly. The management of the company allowed us to contact about 800 sales agents in Germany. The software at question is a video conferencing software which enables the agents to talk to specialists within the firm as well as to contact potential and existing customers. It is particularly the software usage towards the customers for sales and consulting purposes that is of interest for this study.

We contacted the respondents directly by means of an online survey that was hosted on the university server. In order to prevent any desirability bias in the responses, we took several precautions. In the invitation email, we explained that we collect the data without the involvement of the company's management. Moreover, we stressed that their responses will be kept anonymous and in a non-traceable way. In total, 197 of the addressed sales agents started or had a look at the questionnaire; 129 respondents completely finished the survey, which corresponds to a final response rate of over 16 %. After excluding those questionnaires that had been finished in less than 3 minutes (a time from our pre-tests) we ended up with n = 123.

Tab. 1 gives an overview over the sample data after cleaning and partial recoding. All factors have a Cronbach α above 0.7, the recommended threshold for psychometrics.

Neither the Collinearity diagnostics show anything worrisome, all being far below 10 [Ha10]. None of the binary variables shows a category with only few cases, so no inflated bias is to be expected.

Name		Min	Max	Mean	Std. Dev.	Cr.α	VIF
Factor	Item						
MOTIN	MOTIN1	1	7	4.47	1.63	0.82	1.72
	MOTIN2	1	7	4.14	1.79		
MOTEX	MOTEX1	1	7	4.43	1.56	0.74	1.68
	MOTEX2	1	7	4.88	1.75		
SELF	SELF1	1.75	7	4.62	1.32	0.70	1.41
	SELF2*	1	7	5.47	1.87		
	SELF3	1	7	3.66	1.81		
	SELF4	1	7	5.01	1.97		
RISK	RISK1	1	6	2.68	1.17	0.70	1.10
	RISK2	1	7	2.86	1.16		
	RISK3	1	7	3.29	1.56		
TRUST	TRUST1	1.25	7	5.21	1.53	0.92	1.18
	TRUST2	1	7	5.15	1.75		
	TRUST3	1	7	5.46	1.60		
	TRUST4	1	7	5.28	1.63		
AGE*		21.5	60.5	50.53	10.39		1.14
TENURE*		2.5	40.5	25.77	15.89		1.42
TYPE		#general	81	#major	42		1.31
LOC*		#City	69	#Countryside	54		1.07
BINUSE*		#No	65	#Yes	58		

*after recoding

Tab. 1: Descriptives, Reliability and Collinearity

Results and Discussion

Model quality

In order to test our hypotheses, we performed a hierarchical logistic regression. Hence, we first performed a logistic regression including only the control variables, followed by a second regression including the independent variables as well. The inclusion of the independent variables improved the model according to all pseudo-R^2s as well as according the Hosmer Lemeshow Goodness of Fit test [Ha10]. All statistics are shown in Tab. 2.

	Control Model				Full Model			
	β	S.E.	Wald χ^2	Odds Ratio	β	S.E.	Wald χ^2	Odds Ratio
intercept	-0.67	0.996		0.512	**-4.55****	1.575		0.011
AGE	0.02	0.019	0.861	1.018	0.03	0.022	1.486	1.027
TENURE	-0.02	0.014	2.118	0.979	-0.02	0.016	2.208	0.977
TYPEA2	0.30	0.454	0.426	1.344	-0.09	0.502	0.029	0.918
LOCCity	0.20	0.373	0.278	1.217	-0.15	0.431	0.120	0.861
SELF	(H_1)				**0.70****	0.217	10.328	2.007
MOTEX	(H_2)				**-0.31**†	0.178	3.023	0.734
MOTIN	(H_3)				**0.37***	0.185	4.004	1.448
RISK	(H_4)				0.13	0.201	0.428	1.140
TRUST	(H_5)				-0.02	0.150	0.013	0.983

Model Diagnostics:

		Control Model	Full Model
McFaden R^2		0.03	0.19 (Δ0.16)
Cox & Snell R^2		0.04	0.23 (Δ0.19)
Nagelkerke R^2		0.06	0.31 (Δ0.25)
Hosmer Lemeshow Goodness of Fit test	χ^2	15.75	10.70
	p	0.046	0.219

Signif. codes: **p<0.005; *p<0.05; †<0.1

Tab. 2: Hierarchical Logistic Regression

Results

The full model yields several interesting findings. The first curious result is that both RISK and TRUST do not seem to have any significant influence on the participants' usage behaviour. One potential explanation might be that the agents do not consider the use of the software to be risky by any means. Accordingly, they neither need to have trust in their superiors, nor do they require a strong risk propensity to use the software.

The second curious result is that the slightly significant influence of the extrinsic motivation takes the opposite direction as hypothesised. Although we reasonably argued that there is a positive relationship, we can only guess why the result is different than expected. One thesis might be that we observed an effect discussed in educational research. Kohn [Ko96] argues that extrinsic motivators have detrimental effects on performance: "…an extrinsic orientation toward learning has been shown to be associated with a range of negative affective and learning outcomes…". While our setting was only indirectly a learning situation, the parallel might still be drawn. It is, however, beyond the scope of this study to properly evaluate how this result came into

existence.

Finally, two of our hypotheses were verified by our data. Both, self-efficacy and intrinsic motivation are significant and positive predictors of usage behaviour. Beyond this, it is noteworthy that self-efficacy is outstandingly important to innovation adoption.

Implications and Conclusion

Our study has both practical and theoretical implications. The insignificance of trust in superiors and risk propensity should be analysed more closely. As already mentioned, one explanation for this insignificance might be that the participants consider the use of the software to be virtually risk-free. To shed light on this question, a similar study should be carried out focusing on another software or innovation that bears a higher perceived risk for the participants.

The significant and positive influence of self-efficacy and intrinsic motivation on the adoption probability is as hypothesised, based on pre-existing literature. These findings should motivate researchers to further investigate how to enhance self-efficacy and intrinsic motivation. In this line, the following questions could be addressed: How can effective educational interventions be designed to increase self-efficacy, or how should innovations be designed in order to trigger intrinsic motivation?

Also the direction of the influence of extrinsic motivation bears implications for the scientific community. Is it possible that the already mentioned detrimental effect found in education studies does also exist within the field of innovation adoption? We will address this question within the scope of future investigations.

Until this question is answered in a reasonable fashion, one of the practical implications of this paper is that firms should be careful when creating extrinsic motivators for innovation adoption: The consequences could be costly and counterproductive.

Moreover, with respect to the workplace of the future it is important for firms to also consult their employees, as changes that come from the employees themselves will naturally be adopted with a high level of intrinsic motivation and at least a sufficient level of self-efficacy.

Bibliography

[Am94] Amabile, T. M.; Hill, K. G.; Hennessey, B. A.; Tighe, E. M.: The Work Preference Inventory: Assessing intrinsic and extrinsic motivational orientations. In: Journal of Personality and Social Psychology 66 (1994) 5, S. 950–967.

[Ba02] Ba, S.; Pavlou, P. A.: Evidence of the Effect of Trust Building Technology in Electronic Markets: Price Premiums and Buyer Behavior. In: MIS Quarterly 26 (Sep. 2002) 3, S. 243.

[Ba97] Bandura, A.: Self-efficacy the Exercise of control, W. H. Free. New York, 1997.

[Da92] Davis, F. D.; Bagozzi, R. P.; Warshaw, P. R.: Extrinsic and Intrinsic Motivation to Use Computers in the Workplace1. In: Journal of Applied Social Psychology 22 (Jul. 1992) 14, S. 1111–1132.

[De87] Deci, E. L.; Ryan, R. M.: The support of autonomy and the control of behavior. In: Journal of Personality and Social Psychology 53 (1987) 6, S. 1024–1037.

[Di02] Dirks, K. T.; Ferrin, D. L.: Trust in leadership: Meta-analytic findings and implications for research and practice. In: Journal of Applied Psychology 87 (2002) 4, S. 611–628.

[Fr02] Frey, B. S.: Managing Motivation : wie Sie die neue Motivationsforschung für Ihr Unternehmen nutzen können. Gabler, 2002.

[Ha10] Hair, J. F.; Black, W. C.; Babin, B. J.; Anderson, R. E.: Multivariate data analysis. Prentice Hall, 2010.

[Ha16] Hansen, J. M.; Levin, M. A.: The effect of apathetic motivation on employees' intentions to use social media for businesses. In: Journal of Business Research 69 (2016) 12, S. 6058–6066.

[Hs04] Hsu, C.-L.; Lu, H.-P.: Why do people play on-line games? An extended TAM with social influences and flow experience. In: Information & Management 41 (Sep. 2004) 7, S. 853–868.

[Ji16] Jilcha, K.; Kitaw, D.; Beshah, B.: Workplace innovation influence on occupational safety and health. In: African Journal of Science, Technology, Innovation and Development 8 (Mar. 2016) 1, S. 33–42.

[Ko96] Kohn, A.: By All Available Means: Cameron and Pierce's Defense of Extrinsic Motivators. In: Review of Educational Research 66 (1996) 1, S. 1–4.

[Ku14] Kulviwat, S.; Bruner II, G. C.; Neelankavil, J. P.: Self-efficacy as an antecedentce of cognition and affect in technology acceptance. In: Journal of Consumer Marketing 31 (2014) 3, S. 190–199.

[Le05] Lee, M. K. O.; Cheung, C. M. K.; Chen, Z.: Acceptance of Internet-based learning medium: the role of extrinsic and intrinsic motivation. In: Information & Management 42 (Dec. 2005) 8, S. 1095–1104.

[Le97] Lepper, M. R.; Sethi, S.; Dialdin, D.; Drake, M.: Intrinsic and extrinsic motivation: A

developmental perspective. In: Developmental psychopathology: Perspectives on adjustment, risk, and disorder (1997), S. 23–50.

[Lu11] Lu, Y.; Yang, S.; Chau, P. Y.; Cao, Y.: Dynamics between the trust transfer process and intention to use mobile payment services: A cross-environment perspective. In: Information & Management 48 (2011) 8, S. 393–403.

[Ma05] Mayer, R. C.; Gavin, M. B.: Trust in management and performance: Who minds the shop while the employees watch the boss? In: Academy of Management Journal 48 (2005) 5, S. 874–888.

[Ma15] Marangunic, N.; Granic, A.: Technology acceptance model: a literature review from 1986 to 2013. In: Universal Access in the Information Society 14 (Mar. 2015) 1, S. 81–95.

[Mc89] McAuley, E.; Duncan, T.; Tammen, V. V: Psychometric properties of the Intrinsic Motivation Inventory in a competitive sport setting: a confirmatory factor analysis., Research quarterly for exercise and sport, vol. 60. S. 48–58, 1989.

[Mo01] Moon, J.-W.; Kim, Y.-G.: Extending the TAM for a World-Wide-Web context. In: Information & Management 38 (Feb. 2001) 4, S. 217–230.

[Oe16] Oeij, P. R. A.; Leiden, Z. L.; Zuatzu, P. E.; Urumea, E.; Dhondt, S.; Ziauberyte-Jakstiene, R.; Corral, A.; Sebastián, D.-S.: Workplace innovation as social innovation in European companies. ISPIM, 2016, no. 12, S. 1.

[Pe00] Pennings, J. M. E.; Smidts, A.: Assessing the Construct Validity of Risk Attitude. In: Management Science 46 (2000) 10, S. 1337–1348.

[Sh82] Sherer, M.; Maddux, J. E.; Mercandante, B.; Prentice-Dunn, S.; Jacobs, B.; Rogers, R. W.: The self-efficacy scale: Construction and validation. In: Psychological reports 51 (1982) 2, S. 663–671.

[Si92] Sitkin, S. B.; Pablo, A. L.: Reconceptualizing the Determinants of Risk Behavior. In: The Academy of Management Review 17 (Jan. 1992) 1, S. 9.

[St03] Stewart, K. J.: Trust Transfer on the World Wide Web. In: Organization Science 14 (Feb. 2003) 1, S. 5–17.

[Te99] Teo, T. S. H.; Lim, V. K. G.; Lai, R. Y. C.: Intrinsic and extrinsic motivation in Internet usage. In: Omega 27 (Feb. 1999) 1, S. 25–37.

[Tr09] Tremblay, M. A.; Blanchard, C. M.; Taylor, S.; Pelletier, L. G.; Villeneuve, M.: Work Extrinsic and Intrinsic Motivation Scale: Its value for organizational psychology research. In: Canadian Journal of Behavioural Science/Revue canadienne des sciences du comportement 41 (2009) 4, S. 213–226.

[Ve00] Venkatesh, V.: Determinants of Perceived Ease of Use: Integrating Control, Intrinsic Motivation, and Emotion into the Technology Acceptance Model. In: Information Systems Research 11 (Dec. 2000) 4, S. 342–365.

[Ve02] Venkatesh, V.; Speier, C.; Morris, M. G.: User Acceptance Enablers in Individual Decision Making About Technology: Toward an Integrated Model. In: Decision Sciences 33 (Mar. 2002) 2, S. 297–316.

[Wa13] Wang, N.; Shen, X.-L.; Sun, Y.: Transition of electronic word-of-mouth services from web to mobile context: A trust transfer perspective. In: Decision Support Systems 54 (2013) 3, S. 1394–1403.

[Wa15] Waheed, M.; Kaur, K.; Ain, N.; Sanni, S. A.: Emotional attachment and multidimensional self-efficacy: extension of innovation diffusion theory in the context of eBook reader. In: Behaviour & Information Technology 34 (2015) 12.

[We04] Webber, S. S.; Klimoski, R. J.: Client-project manager engagements, trust, and loyalty. In: Journal of Organizational Behavior 25 (Dec. 2004) 8, S. 997–1013.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 1413

Datenbrillen in der Wartung: Evaluation verschiedener Eingabemodalitäten bei Servicetechnikern

Veronika Huck-Fries[1], Florian Wiegand[1], Kai Klinker[1], Manuel Wiesche[1] und Helmut Krcmar[1]

Abstract: Die Digitalisierung der Instandhaltungsbranche ist durch einen zunehmenden Grad der Mobilisierung von Technologien gekennzeichnet. Datenbrillen versprechen durch die Möglichkeit der freihändigen Bedienung elementare Vorteile in Bezug auf die Geschwindigkeit, Fehlerfreiheit und Benutzerfreundlichkeit. Insbesondere im Kontext der Wartung bieten Datenbrillen die Möglichkeit, Mitarbeiter mit Schritt-für-Schritt Anleitungen zu unterstützen, ohne dass diese ihre Arbeit unterbrechen müssen. Bisher gestaltete sich jedoch die Interaktion mit der Technologie als wesentlicher limitierender Faktor. Weiterhin fehlen empirische Nachweise, welche Bedienmodalität mit der Datenbrille sich für die Arbeitsweise von Servicetechnikern eignet. Innerhalb der vorliegenden Studie wurde ein Experiment mit 130 Probanden durchgeführt, die eine repräsentative Verteilerwartung mithilfe von Buttons, Sprach- und Gestensteuerung durchführten. Anschließend wurden Beanspruchung, Benutzerfreundlichkeit und Zeit evaluiert. Die Resultate zeigten, dass Sprache die Eingabemethode mit der niedrigsten Beanspruchung und höchsten Benutzerfreundlichkeit ist. Die Ergebnisse dienen sowohl für Forschung als auch Praxis als Grundlage für Bewertung und Potenzialeinschätzung von Datenbrillenanwendungen in der Wartung.

Keywords: Datenbrillen, Wartung, Eingabemodalitäten, Mensch-Maschine-Interaktion

1 Einleitung

Nahezu 60% aller Unternehmen in der Instandhaltungsbranche planen die Einführung von mobilen Endgeräten in den nächsten fünf Jahren [Gü15]. Als nachhaltigste Treiber der Digitalisierung zählen die Effizienzsteigerung, Innovationsfähigkeit und Qualitätssteigerung [TN15]. Um diese Ziele zu erreichen, werden in der Instandhaltung technologische Trends wie die direkte Kommunikation zwischen Maschinen und Serviceportale eingesetzt. Ein spezifischer Fokus liegt darüber hinaus im Einsatz von Augmented Reality-Technologien. Datenbrillen sind eine Form der Darstellung von Augmented Reality und ermöglichen mitunter Fernwartungen, digitale Dokumentation, Assistenz- und Trainingssysteme. Bedingt durch die freihändige Bedienung können Instandhaltungsprozesse schneller, fehlerfreier und nutzerfreundlicher durchgeführt werden [Ne98, Cr11].

Obwohl dadurch in der Instandhaltung zahlreiche Anwendungsszenarien bestehen,

[1] Technische Universität München, Institut für Informatik, Lehrstuhl für Wirtschaftsinformatik, Boltzmannstraße 3, 85748 Garching, {veronika.fries|wiegand|kai.klinker|wiesche|krcmar}@in.tum.de

doi:10.18420/in2017_141

konnte sich die Datenbrille für Servicetechniker bislang noch nicht durchsetzen [Vo17]. Als einer der Hauptbarrieren für die fehlende Akzeptanz wird die Benutzerinteraktion beschrieben [Az01, St16]. Diese gestaltet sich insbesondere in der Instandhaltung als zentrale Komponente. Da Techniker häufig mit Werkzeugen arbeiten, ist eine zusätzliche Bedienung per Hand erschwert. Ein Ausziehen der Arbeitshandschuhe zum Bedienen der Brille hat eine Arbeitsunterbrechung zur Folge. Dies würde den ohnehin hohen Zeitdruck, der als häufigste Ursache für folgenschwere Fehler in der Instandhaltung gilt [Ho03], noch vergrößern. Es ist daher darauf zu achten, den Benutzer durch den Einsatz einer Technologie in seiner Tätigkeit adäquat zu unterstützen oder diese zu vereinfachen [Ka10].

Moderne Datenbrillen bieten verschiedene Lösungen zur Interaktion an, wie die Tasten-, Sprach- oder Gestensteuerung. Leider eignen sich nicht alle Eingabemethoden gleichermaßen für den Einsatz im Wartungsprozess. So darf sich beispielsweise bei der Spracheingabe im Umfeld keine Lärmquelle befinden. Bei der Gestensteuerung sind gewollte von ungewollten Bewegungen zu unterscheiden und die Steuerung soll den Nutzer in hoch beanspruchenden Situationen nicht überfordern [Ka10]. Darüber hinaus besitzen viele Datenbrillen noch nicht die Rechenkapazität, um diese Technologie überhaupt nutzen zu können. Die Literatur liefert bisher noch keine ausreichende Antwort auf die Frage, welche Eingabemethode sich im Kontext der Wartung am besten für Servicetechniker eignen.

Bisher gibt es lediglich wenig Literatur im Bereich der Informationssysteme, die sich mit dem Problem der Interaktion zwischen Mensch und Datenbrille beschäftigt. Der Fokus der aktuellen Forschung liegt in der Erprobung neuer Interaktionsformen, wie die Steuerung mittels Augenbewegungen [Ko15a]. Zu den auf heutigen Datenbrillen verfügbaren Eingabemethoden Buttons, Sprache und Geste gibt es noch keine empirischen Nachweise über die Benutzerfreundlichkeit oder Beanspruchung des Nutzers durch die Technologie. Ziel dieser Arbeit ist es, diese Forschungslücke zu schließen und einen empirischen Nachweis auf die Forschungsfrage zu liefern, inwiefern sich die Eingabemethode auf Benutzerfreundlichkeit, Beanspruchung und Geschwindigkeit auswirkt. Dazu wird anhand des Wartungsprozesses der Verteilerprüfung ein Experiment zum Vergleich von Buttons, Sprache und Gesten durchgeführt. Das Ziel dieser Forschung ist eine fundierte Analyse der momentan auf Datenbrillen verfügbaren Eingabemethoden. Das Paper soll als Orientierung für Entwicklungen in der Praxis der Instandhaltungsbranche dienen.

Das Paper ist wie folgt strukturiert: Zunächst werden die theoretischen Grundlagen des Instandhaltungsprozesses und Datenbrillen beschrieben. Anschließend wird die Methodik des Experiments dargelegt, gefolgt von einer Erläuterung des Softwareartefaktes. Abschließend wird das Ergebnis vorgestellt und im Diskussionsteil in Bezug zu bestehender Theorie und Praxis gesetzt.

2 Grundlagen

2.1 Datenbrillen im Instandhaltungsprozess

Instandhaltungsprozesse werden in die vier Maßnahmen Wartung, Inspektion, Instandsetzung und Verbesserung strukturiert nach [DI12]. Typischerweise gestalten sich die Arbeitsschritte in Instandhaltungsprozessen als fehleranfällig, langwierig und beinhalten vertrauliche Informationen. Dokumente liegen oft nur in gedruckter Version vor [Pl16]. Außerdem fehlt dem Auftraggeber die Transparenz der bereits durchgeführten Arbeitsschritte, da die papierbasierte Dokumentation erst noch in IT-Systemen nachgetragen werden muss. Durch die Einführung von sogenannter „Predictive Maintenance“ oder auch vorausschauende Wartung haben sich Unternehmen zunehmend mit der Digitalisierung beschäftigt [Bi15]. Die digital vorliegenden Daten können nun auch mit neuen Technologien wie Smart Glasses oder anderen mobilen Endgeräten visualisiert und mit zusätzlichen Informationen angereichert werden.

Mobile Endgeräte sind bereits häufig an die interne Unternehmensinfrastruktur angeschlossen. Jeder dritte Arbeitnehmer arbeitet mit Smartphones, Tablets oder Laptops abseits des Arbeitsplatzes [Fr16]. Vor allem im Bereich der Instandhaltung hat die Mobilität großes Potenzial, da Techniker meistens nicht ihren Desktop-PC mit zum Einsatzort nehmen können. In der Zukunft werden neuere Technologien wie Datenbrillen daher eine noch größere Bedeutung für den Arbeitsalltag von Servicetechnikern haben. Global Market Insights schätzt für die nächsten sieben Jahre ein jährliches Umsatzwachstum von über 80%. In 2015 wurden in Deutschland bereits 47 Millionen Euro mit Produkten rund um Augmented Reality umgesetzt. Dabei hat der industrielle Einsatz mit über 25% den größten Anteil [GM16].

Datenbrillen bestehen aus einem kleinen Rechner, der mithilfe eines Brillengestells oder einer anderen Apparatur am Kopf getragen wird. Über ein Display können dem Nutzer je nach Modell Informationen auf einem oder beiden Augen angezeigt werden [Be17]. Man spricht auch von der Erweiterung der menschlichen Realitätswahrnehmung durch eine Überlagerung mit visuellen, auditiven und haptischen Informationen [Ro14].

Mittels des Einsatzes von Datenbrillen lässt sich der Wartungsprozess hinsichtlich verschiedener Aspekte optimieren. Die Einsatzmöglichkeiten können dabei in Fernwartung, Schritt-für-Schritt Anleitungen und Schulungen unterteilt werden. So kann beispielsweise die Anzeige der nächsten Schritte den Mitarbeiter durch den Wartungsprozess führen. Bei einer Zunahme von Heterogenität und Komplexität der Aufgaben vermeidet dies Fehler und spart Zeit [Fr04]. Auch Informationen zu Bauteilen können direkt vor Ort angezeigt werden. Zeitliche Vorteile und eine geringere Beanspruchung sind hauptsächlich mit der geringeren Anzahl an Kontextwechseln und der freihändigen Benutzung begründet [Ne98]. Mit Datenbrillen kann die Durchführung der Wartung digital dokumentiert werden.

2.2 Bedienmodalitäten von Datenbrillen

Trotz des Potenzials und des wachsenden Marktvolumens von Datenbrillen ist die Interaktion zwischen Mensch und Technologie aktuell der wesentliche limitierende Faktor, der den Einsatz in der Praxis blockiert [Az01]. Das Problem der Datenbrillen hierbei ist, dass die Eingabemöglichkeiten durch den Formfaktor sehr begrenzt sind. In der Regel steht keine vollständige physische Tastatur zur Verfügung, weshalb Techniken wie die Gesten- oder Sprachsteuerung eingesetzt werden müssen [Al11]. Doch auch diese haben ihre Schwierigkeiten im Praxiseinsatz. So können bei der Sprachsteuerung Umgebungsgeräusche die Qualität der Ergebnisse beeinträchtigen. Auch ist es bisher schwierig, selten benutzte Wörter verlässlich zu erkennen. Dahingegen können bei der Gestensteuerung Bewegungen während der Arbeit ungewollt eine Interaktion auslösen. Außerdem finden es einige Benutzer merkwürdig, wenn sie die Datenbrille mit Gesten in der Öffentlichkeit bedienen [Ko15b]. Die Forschung konzentriert sich auf die Entdeckung alternativer Eingabemethoden wie die Projektion von virtuellen Tastaturen auf die Handflächen oder die Blickregistrierung [Wa15, Ko15a]. Ungeachtet der Probleme stellt sich die Frage, welche Eingabemethode auf Datenbrillen sich aus Sicht des Benutzers am besten eignet. Dieser muss letztlich mit ihr täglich arbeiten und sollte daher maßgebend für die Bewertung sein. Aus diesem Grund werden im Folgenden die drei Steuerungsmöglichkeiten Buttons, Sprache und Geste in Bezug auf Benutzerfreundlichkeit, Beanspruchung und Geschwindigkeit verglichen. Durch die multidimensionale Messung können auf Basis der Studie empirische Nachweise hinsichtlich der Interaktion zwischen Nutzer und Datenbrille getroffen werden. Tabelle 1 gibt einen Überblick über die drei Eingabemodalitäten.

Eingabemodalität	Charakteristika
Buttons	Direkte Interaktion mittels Knöpfe seitlich an der Datenbrille
Sprache	Indirekte Interaktion mittels Sprache & vordefinierter Begriffe
Geste	Indirekte Interaktion mittels definierter Gesten

Tab. 1: Übersicht über Eingabemodalitäten der Datenbrille im Experiment

Zwar wurde in der Literatur bereits festgehalten, dass die Interaktion zwischen Mensch und Datenbrille dazu führt, dass Datenbrillen in der Praxis limitiert eingesetzt werden [Az01]. Bislang beschäftigte sich lediglich eine Studie mit der Eingewöhnungszeit und Geschwindigkeit der möglichen Eingabemethoden auf Datenbrillen [St16], jedoch weist die Studie bedingte Repräsentativität auf. Weitere wichtige Messgrößen sind die Benutzerfreundlichkeit und Beanspruchung, die einen signifikanten Einfluss auf die Arbeitslast der Mitarbeiter haben [Ay11]. Am häufigsten untersucht ist hierbei der Geschwindigkeitsvorteil von Datenbrillen gegenüber auf Papier basierter Wartung [Ne98, Ba99, Ma13], allerdings nicht bezogen auf die Eingabemethode der Datenbrille. Auf Basis der dargestellten empirischen Befunde und der daraus resultierenden Forschungslücke soll im Folgenden ein empirischer Nachweis hinsichtlich des Effekts verschiedener Eingabemodalitäten auf Benutzerfreundlichkeit, Beanspruchung und Geschwindigkeit geliefert werden.

3 Methodik

3.1 Design und Versuchsmaterial

Bei der vorliegenden Studie handelt es sich um ein einfaktorielles Between-Subjects-Design. Die Probanden wurden randomisiert einer der drei Bedingungen zugeteilt. So testeten die Teilnehmer je nach Gruppenzugehörigkeit das Softwareartefakt mit den Buttons der Datenbrillen, Sprache oder Geste. Neben der Benutzerfreundlichkeit und Beanspruchung wurde auch die Durchlaufzeit anhand von Protokolldateien gemessen.

Benutzerfreundlichkeit beschreibt laut ISO-Standard das Ausmaß der drei Kriterien Effektivität, Effizienz und Zufriedenheit [IS98]. Eine hohe Benutzerfreundlichkeit ist demnach eine Bedingung für den Einsatz in der Praxis. Diese wird in diesem Experiment mit Hilfe des System Usability Scale (SUS) gemessen [Br96]. Der valide und hoch reliable Fragebogen ist ein weitverbreitetes Instrument zum Erheben von Bedienfreundlichkeit aus Sicht des Nutzers [Br13]. Für das Experiment wurde eine deutschsprachige Übersetzung benutzt [Ru15].

Auch die Beanspruchung ist ein wichtiger Indikator für die Benutzerfreundlichkeit [Wh94]. Der NASA Task Load Index (NASA-TLX) ist ein Werkzeug, um diese zu messen. Dafür werden die sechs Dimensionen geistige Anforderungen, körperliche Anforderungen, zeitliche Anforderungen, Leistung, Anstrengung und Frustration gemessen. Der Experimentteilnehmer kreuzt dazu seine gefühlte Beanspruchung auf einer 20 stufigen Likertskala an [Ha88]. Aufgrund von Limitationen der genutzten Umfrageplattform wurden statt 20 Stufen nur eine Likertskala von 1-10 eingesetzt. Die Fragen zu den sechs Dimensionen sind auf Deutsch [Pf90].

3.2 Probanden

An der Studie haben insgesamt 131 Probanden teilgenommen. Hierbei handelt es sich um Studierende einer Universität in Deutschland, welchen für die Mitwirkung an dem Experiment ein Notenbonus gewährt wurde. Für Brillenträger war es erforderlich, Kontaktlinsen zu tragen.

4 Testartefakt und Versuchsablauf

4.1 Demoanwendung

Nach einer kurzen Einführung in das Experiment sowie die Handhabung der Datenbrille hatten die Teilnehmer Zeit, sich anhand einer Demoanwendung mit der jeweiligen Eingabemethode vertraut zu machen. Abb. 1 zeigt einen Screenshot dieser Anwendung. Es werden nacheinander die Begriffe Links, Oben, Rechts, Unten und Weiter angezeigt.

Die Benutzer müssen mit ihrer Eingabemethode in die angezeigte Richtung navigieren. Im Falle von rechts oder unten muss der „Vor“-Knopf gedrückt werden. Bei der Gestensteuerung der Kopf dafür nach rechts bewegt werden. Teilnehmer mit Spracheingabe können einfach den Begriff sprechen. Bei falscher Eingabe erfolgt eine Fehlermeldung. Diese ist auch in Abb. 1 zu sehen.



Abb. 1: Demoanwendung

4.2 Testartefakt

Nachdem der Teilnehmer mit seiner Eingabemethode vertraut ist und es keine weiteren Fragen zum Versuchsablauf mehr gibt, wird das eigentliche Softwareartefakt ausprobiert. In dem Experiment wird die Wartung eines Stromverteilerkastens simuliert. Dieser sicherheitskritische Prozess ist branchenübergreifend für alle Unternehmen verpflichtend und daher ein repräsentatives Beispiel [DG97]. Abb. 2 zeigt die Benutzeroberfläche der Sprachsteuerungsanwendung. Der Proband bekommt dafür eine Datenbrille, die ihn durch die Wartung führt. Zunächst muss ein Verteiler mit der Bezeichnung „111.06-IT.04.32“ ausgewählt werden. Anschließend öffnet sich ein Fenster und ein Blatt mit der Aufschrift „1“ muss fotografiert werden. Der Benutzer bekommt das geschossene Foto angezeigt und soll daraufhin noch ein weiteres von einem zweiten Blatt vor ihm machen. Ist dies auch getan, muss das Vorhandensein von vier unterschiedlichen Netzen gemäß den Experimentanweisungen angegeben werden. Je nachdem zu welcher Gruppe der Proband gehört muss er die Datenbrille mit Sprache, Gesten oder Buttons bedienen.

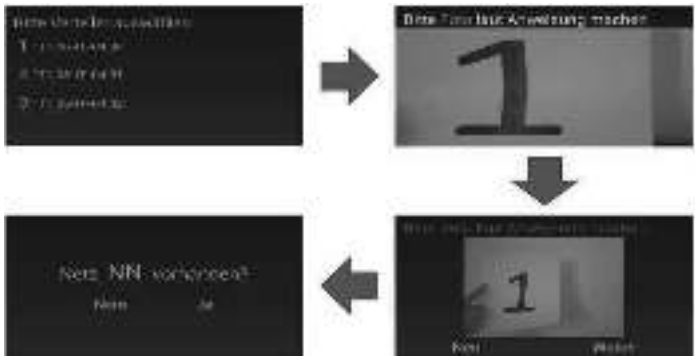


Abb. 2: Testartefakt

5 Ergebnisse

Aus den 131 Studienteilnehmern sind nach Bereinigen der falsch angekreuzten Kontrollfragen 118 Teilnehmer übriggeblieben, die sich wie folgt in die drei Gruppen aufteilen: Buttons (38), Sprache (42) und Geste (38). Für die statistischen Tests wurde ein Konfidenzniveau von 95% gewählt. In den Graphen ist zusätzlich die Standardabweichung zu sehen.

5.1 Benutzerfreundlichkeit

Für die Benutzerfreundlichkeit wurde eine Gesamtpunktzahl für jede Beobachtung berechnet und auf einen Wertebereich von 0 – 100 skaliert [Br96]. Eine hohe Punktzahl steht für ein benutzerfreundliches Produkt. Abb. 3 zeigt die Ergebnisse des SUS – Fragebogens mit dem zugehörigen Konfidenzintervall. Die gestrichelte Linie zeigt den durchschnittlichen Praxiswert mit 68 Punkten [Sa12].

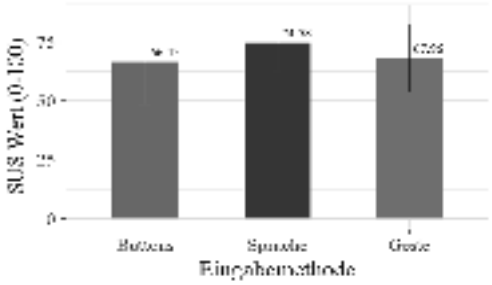


Abb. 3: Mittelwerte der SUS - Gesamtpunktzahl

Eine einfaktorielle Varianzanalyse (ANOVA) wurde durchgeführt, um mögliche Effekte der Eingabemethode auf die Benutzerfreundlichkeit zu untersuchen. Die Eingabemethode hat einen signifikanten Einfluss auf die wahrgenommene Benutzerfreundlichkeit ($F(2,115) = 3.45$, $p = .035$, $\eta_p^2 = .06$). Gemäß dem Tukey-HSD schneidet die Spracheingabe signifikant besser ab als die Steuerung mit Knöpfen (+8.14, $p = .041$). Die anderen Gruppen zeigen keine signifikanten Unterschiede.

5.2 Beanspruchung

Für die Untersuchung der Beanspruchung wurde für jede Beobachtung ein Mittelwert der einzelnen Dimensionen des NASA-TLX gebildet. Dieser liegt durch unsere Einschränkungen in Kapitel 3.1 zwischen 1 und 10, wobei ein niedriger Wert eine geringe Beanspruchung darstellt. Abb. 4 zeigt die Ergebnisse des Experiments mit den dazugehörigen 95% Konfidenzintervallen.

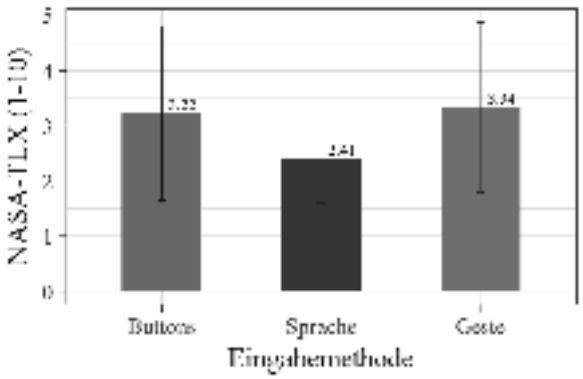


Abb. 4: Nasa-TLX Mittelwerte

Eine einfaktorielle Varianzanalyse (ANOVA) wurde durchgeführt, um mögliche Effekte der Eingabemethode auf die Beanspruchung zu untersuchen. Die Eingabemethode hat einen signifikanten Einfluss auf die wahrgenommene Beanspruchung der Probanden ($F(2,115) = 5.79$, $p = .004$, $\eta_p^2 = .09$). Gemäß dem Tukey Post-Hoc Test schnitt die Spracheingabe sowohl gegenüber der Steuerung mit Knöpfen (-0.81, $p = .021$) als auch der Gestensteuerung (-0.93, $p = .007$) signifikant besser ab. Zwischen Knöpfen und Gesten gab es keinen signifikanten Unterschied.

5.3 Durchlaufzeit

Um nur vollständige und korrekte Messungen zu berücksichtigen, sind offensichtlich falsche Messwerte aus dem Datensatz entfernt worden [Gr01]. Darunter fallen zum einen zu früh gestartete Anwendungen und zum anderen Protokollfehler der Anwendung. Die Ergebnisse sind nach den drei Aufgabentypen aufgeschlüsselt in Abb. 5 zu sehen. Gestensteuerung hat dabei insgesamt eine Durchlaufzeit von 98,07s, Sprachsteuerung 85,12s und die Knopfsteuerung 76,92s.

Eine einfaktorielle Varianzanalyse (ANOVA) wurde ausgeführt, um mögliche Effekte der Eingabemethode auf die Gesamtdurchlaufzeit zu untersuchen. Es zeigte sich ein signifikanter Einfluss der Eingabemethode auf die Durchlaufzeit ($F(2,120) = 4.96$, $p = .009$, $\eta_p^2 = .08$). Ein Tukey Post-Hoc Test hat weiterhin ergeben, dass die Knopfsteuerung signifikant schneller war als die Gestensteuerung (-21.15s, $p = .006$). Es zeigen sich keine signifikanten Unterschiede bei den restlichen Gruppen.

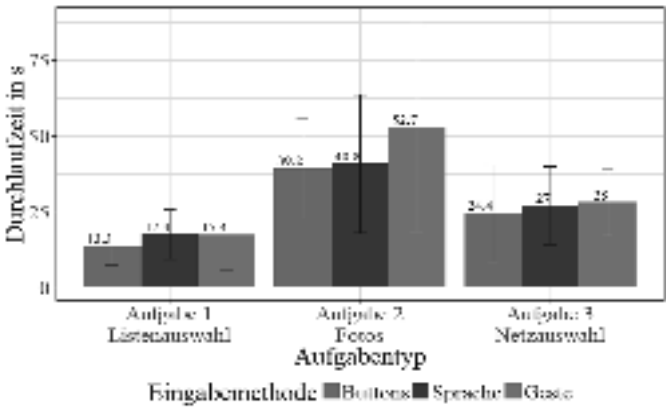


Abb. 5: Durchlaufzeiten nach Aufgabentyp

6 Diskussion

Diese Arbeit gibt Aufschluss über mögliche Interaktionsformen bei Datenbrillen für Wartungstechniker. Neben der Instandhaltungsbranche könnten auch andere Bereiche, beispielsweise das Gesundheits- und Krankenhauswesen, stark von freihändig bedienbaren Informationssystemen profitieren. Bisher war allerdings unklar, welche momentan verfügbare Eingabemethode sich für den täglichen Einsatz am besten eignet.

Die Ergebnisse zeigen, dass Sprachsteuerung eine höhere Benutzerfreundlichkeit aufweist und gleichzeitig weniger beanspruchend ist als Gesten- und Knopfsteuerung. Ein Grund hierfür könnte sein, dass zur Nutzung einer Sprachsteuerung kein neues Nutzerinterface erlernt werden muss. Sprachassistenten wie Siri oder Alexa erhalten Einzug in den Alltag und die Benutzer sind oft schon mit der Eingabemethode vertraut [St15]. Dahingegen müssen die anderen Steuerungsmöglichkeiten erst neu gelernt werden. Knöpfe befinden sich an ungewohnten Positionen und sind nur schwer voneinander zu unterscheiden. Bei Gesten kommt zusätzlich der physische Aufwand hinzu [Ne98]. Aus dieser Perspektive eignet sich die Sprachsteuerung am besten für die alltägliche Benutzung im Wartungsbereich. Vergleicht man nur die Geschwindigkeit, so hat sich gezeigt, dass die Eingabe mit Knöpfen deutlich schneller ist als mit Gesten. Ein Grund hierfür könnte sein, dass die Genauigkeit sehr hoch ist und somit kein wiederholtes Drücken des Buttons nötig ist. Dahingegen können missverständliche Gesten oder Sprachbefehlen zu einer falschen Systemaktion führen [St16].

Für die Praxis ergeben sich daher folgende Implikationen: Aus Sicht der Benutzerfreundlichkeit ist bei Datenbrillen im Wartungsbereich die Sprachsteuerung zu empfehlen. Da im Praxisgebrauch allerdings Störfaktoren wie Umgebungsgeräusche auftreten können, sollte eine zusätzliche Eingabemethode zur Verfügung stehen [Sc12]. Gemäß den Ergebnissen des Experiments bietet sich hier die Tastensteuerung aufgrund

ihrer hohen Genauigkeit und Schnelligkeit an. Weiterhin gibt es Situationen, beispielsweise bei der Wartung einer Maschine im öffentlichen Raum, in denen die Sprachsteuerung aufgrund sozialer Normen unangebracht ist. Hier könnte einfach auf die zusätzliche Eingabemethode zurückgegriffen werden. Eine Steuerung per Geste erscheint nicht sinnvoll, da sie sowohl in der Benutzerfreundlichkeit, Beanspruchung und Geschwindigkeit schlechter abgeschnitten hat und mit zusätzlichen Problemen der sozialen Akzeptanz zu kämpfen hat [Mo10].

Unsere Arbeit weist mehrere Limitationen auf. Zunächst beziehen sich diese auf die Selektion einer studentischen Stichprobe, welche hinsichtlich der Repräsentativität der Ergebnisse Einschränkungen bietet. In weiterführenden Studien sollte daher eine Evaluation mit Servicetechnikern realisiert werden. Eine weitere mögliche Einschränkung unserer Arbeit ist die Vorgabe eines fiktiven Anwendungsfalls aus der Wartung. Im Rahmen einer realen Feldevaluation könnte in anschließenden Studien eine höhere Generalisierbarkeit erreicht werden. Darüber hinaus lässt sich die Benutzung von nur einer Datenbrille als Limitation nennen. Die Durchführung unseres Experiments mit anderen Datenbrillen, beispielsweise binokularen Geräten, könnte daher zu abweichenden Ergebnissen führen. Letztlich deuten die Ergebnisse darauf hin, dass Benutzer die Sprachsteuerung intuitiver beurteilen. Interessant für weitere Forschung wäre hierbei eine qualitative Untersuchung der zugrundeliegenden Motive, um künftig ansprechendere Bedienkonzepte zu entwickeln.

Literaturverzeichnis

[Al11] Alem, L.; Huang, W. Hrsg.: Recent trends of mobile collaborative augmented reality systems. Springer, New York, NY, 2011.

[Ay11] Ayyagari, R.; Grover, V.; Purvis, R.: Technostress. Technological Antecedents and Implications. In MIS Q, 2011, 35; S. 831–858.

[Az01] Azuma, R. et al.: Recent advances in augmented reality. In IEEE computer graphics and applications, 2001, 21; S. 34–47.

[Ba99] Baird, K. M.; Barfield, W.: Evaluating the effectiveness of augmented reality displays for a manual assembly task. In Virtual Reality, 1999, 4; S. 250–259.

[Be17] Bendel, O.: Datenbrille. Beitrag für das Gabler Wirtschaftslexikon. http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Definition/datenbrille.html, 20.03.2017.

[Bi15] Bitkom: Industrie 4.0. https://www.bitkom.org/Presse/Anhaenge-an-PIs/2015/04-April/BITKOM-PK-Industrie-40-13-04-2015-final.pdf, 07.04.2017.

[Br13] Brooke, J.: SUS. A Retrospective. In J. Usability Studies, 2013, 8; S. 29–40.

[Br15] Brusie, T. et al.: Usability evaluation of two smart glass systems: 2015 Systems and Information Engineering Design Symposium (SIEDS). 2015, Charlottesville, VA. IEEE, Piscataway, NJ, 2015; S. 336–341.

[Br96] Brooke, J.: SUS-A quick and dirty usability scale. In Usability evaluation in industry,

1996, 189; S. 189–194.

[Cr11] Crescenzio, F. de et al.: Augmented reality for aircraft maintenance training and operations support. In IEEE computer graphics and applications, 2011, 31; S. 96–101.

[DG97] DGUV: Unfallverhütungsvorschrift Elektrische Anlagen und Betriebsmittel. DGUV Vorschrift 3. http://publikationen.dguv.de/dguv/pdf/10002/vorschrift3.pdf, 18.04.2017.

[DI12] DIN: DIN 31051 Fundamentals of maintenance, 2012.

[Fr04] Friedrich, W. Hrsg.: ARVIKA. Augmented Reality für Entwicklung, Produktion und Service. Publicis Corp. Publ, Erlangen, 2004.

[Fr16] Früh, F.: Mobilgeräte ergänzen den klassischen Computer-Arbeitsplatz. https://www.bitkom.org/Presse/Presseinformation/Mobilgeraete-ergaenzen-den-klassischen-Computer-Arbeitsplatz.html, 08.03.2016.

[GM16] GMI Insights: Augmented Reality Market Size. https://www.gminsights.com/industry-analysis/augmented-reality-ar-market, 16.03.2017.

[Gr01] Grzymala-Busse, J. W.; Hu, M.: A Comparison of Several Approaches to Missing Attribute Values in Data Mining. In (Ziarko, W.; Yao, Y. Hrsg.): Rough Sets and Current Trends in Computing. Second International Conference, RSCTC 2000 Banff, Canada, 2000 Revised Papers. Springer, Berlin, Heidelberg, 2001; S. 378–385.

[Gü15] Güntner, G.; Beinisch, M.; Dankl, A.; Isopp, J.: Roadmap der Instandhaltung 4.0. https://instandhaltung40.salzburgresearch.at/wp-content/uploads/IH40-Roadmap-final.pdf, 19.04.2017.

[Ha88] Hart, S. G.; Staveland, L. E.: Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of Empirical and Theoretical Research. In (Meshkati, N.; Hancock, P. A. Hrsg.): Human Mental Workload. Elsevier textbooks, 1988; S. 139–183.

[Ho03] Hobbs, A.; Williamson, A.: Associations between Errors and Contributing Factors in Aircraft Maintenance. In Human Factors, 2003, 45; S. 186–201.

[IS98] ISO, I. S.: 9241-11. Ergonomic requirements for office work with visual display terminals (VDTs). In The international organization for standardization, 1998, 45.

[Ka10] Karr-Wisniewski, P.; Lu, Y.: When more is too much. Operationalizing technology overload and exploring its impact on knowledge worker productivity. In Computers in Human Behavior, 2010, 26; S. 1061–1072.

[Ko15a] Kocejko, T. et al.: Eye tracking within near-to-eye display: 2015 8th International Conference on Human System Interactions (HSI). 2015, Warsaw, Poland. IEEE, Piscataway, NJ, 2015; S. 166–172.

[Ko15b] Koelle, M.; Kranz, M.; Möller, A.: Don't look at me that way! In (Boring, S. et al. Hrsg.): Proceedings of the 17th ACM International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services Adjunct. Copenhagen, Denmark, 2015. ACM, New York, NY, 2015; S. 362–372.

[Ma13] Marner, M. R.; Irlitti, A.; Thomas, B. H.: Improving procedural task performance with Augmented Reality annotations: 2013 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR). 2013, Adelaide, SA. IEEE, Piscataway, NJ, 2013; S.

39–48.

[Mo10] Montero, C. S. et al.: Would you do that? In (Sá, M. de Hrsg.): Proceedings of the 12th international conference on Human computer interaction with mobile devices and services. ACM, New York, NY, 2010; S. 275.

[Ne98] Neumann, U.; Majoros, A.: Cognitive, performance, and systems issues for augmented reality applications in manufacturing and maintenance: Proceedings / IEEE 1998 Virtual Reality Annual International Symposium, March 14 - 18, 1998, Atlanta, Georgia. IEEE Computer Society, Los Alamitos, Calif., 1998; S. 4–11.

[Pf90] Pfendler, C.: Zur Messung der mentalen Beanspruchung mit dem NASA-Task Load Index. In Zeitschrift für Arbeitswissenschaft, 1990, 44; S. 158–163.

[Pl16] Plutz, M.; Große Böckmann, M.; Siebenkotten, P.; Schmitt, R.: Smart Glasses in der Produktion. http://publica.fraunhofer.de/eprints/urn_nbn_de_0011-n-3893364.pdf, 19.10.2016.

[Ro14] Roesner, F.; Kohno, T.; Molnar, D.: Security and privacy for augmented reality systems. In Communications of the ACM, 2014, 57; S. 88–96.

[Ru15] Ruegenhagen, E.; Rummel, B.: System Usability Scale – jetzt auch auf Deutsch. https://experience.sap.com/skillup/system-usability-scale-jetzt-auch-auf-deutsch/, 13.03.2017.

[Sa12] Sauro, J.; Lewis, J. R.: Quantifying the user experience. Practical statistics for user research. Morgan Kaufmann, Waltham, Md., 2012.

[Sc12] Schnelle-Walka, D.; Döweling, S.: Speech augmented multitouch interaction patterns. In (Avgeriou, P. Hrsg.):Proceedings of the 16th European Conference on Pattern Languages of Programs. ACM, New York, NY, 2012; S. 1–23.

[St15] Sterling, G.:MindMeld Launches Voice Assistant 2.0, Says Voice Search Growing Dramatically. 40 percent of smartphone owners started using voice in just the past six months. http://searchengineland.com/mindmeld-launches-voice-assistant-2-0-says-voice-search-growing-dramatically-238130, 10.04.2017.

[St16] Stocker, A. et al.: Datenbrillengestützte Checklisten in der Fahrzeugmontage. In Informatik-Spektrum, 2016, 51; S. 827–835.

[TN15] TNS Infratest: Monitoring-Report Wirtschaft DIGITAL. Wirtschaftsindex DIGITAL: Mittelstand 2015. https://www.tns-infratest.com/wissensforum/studien/pdf/bmwi/TNS-Infratest-Monitoring_Report_2015_Mittelstand.pdf, 24.03.2017.

[Vo17] Vogel-Heuser, B.; Bauernhansl, T.; Hompel, M. ten Hrsg.: Handbuch Industrie 4.0 Bd.2. Automatisierung. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2017.

[Wa15] Wang, C.-Y. et al.: PalmType. Using Palms as Keyboards for Smart Glasses. In (Boring, S. et al. Hrsg.): Proceedings of the 17th ACM International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services Adjunct. Copenhagen, Denmark, 2015. ACM, New York, NY, 2015; S. 153–160.

[Wh94] Whiteside, J.; Bennett, J.; Holtzblatt, K.: Usability Engineering: Our Experience and Evolution. In (Helander, M. Hrsg.):Handbook of human-computer interaction. North-Holland, Amsterdam, 1994; S. 791–817.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 1425

VeraPlan: Eine kollaborative Cloudanwendung zur Veranstaltungsplanung

Felix Meyer[1], Tanja Klocke-Wurm[2], Kai-Tobias Busse[3], Florian Kuhlmann[4], Jürgen Brehm[5] und Martin Hoffmann[6]

Abstract: Bei der Polizei, der Feuerwehr sowie in Krankenhäusern und Schulen müssen regelmäßig Personaleinsatzpläne, Dienstpläne und Stundenpläne erstellt werden. Die Einflussnahme des Einzelnen auf den Plan ist begrenzt. Persönliche Präferenzen können nur selten vollständig berücksichtigt werden. Arbeitszeiten und -tage werden vom Ersteller des Plans „von oben herab“ vorgegeben.

Wissenschaftliche Untersuchungen legen nahe, dass eine Partizipation der Mitarbeiter bei der Erstellung von Plänen eine erhöhte Zufriedenheit bewirkt. Demnach ist eine Erstellung von Plänen in Zusammenarbeit mit allen Beteiligten sinnvoll. Dieser organisatorisch anspruchsvolle Prozess der Planerstellung soll mit der Software VeraPlan ermöglicht werden. Mit dieser Webanwendung kann die Erstellung eines Planes als gemeinschaftlicher, kreativer und motivierender Prozess erlebbar gemacht werden. Das „Wir-Gefühl“ von Organisationen wird durch die Einbeziehung aller Beteiligten gestärkt. Die Nutzer können unabhängig vom Aufenthaltsort über Tablet und Smartphone am Prozess mitwirken. VeraPlan kann mit modernsten Algorithmen zur Optimierung Pläne von hoher Qualität berechnen.

Keywords: Cloud; kollaborativ; Planerstellung; Planung; Software

1 Einführung

1.1 Problemstellung

In vielen Bereichen des alltäglichen Lebens werden Zeit- und Belegungspläne benötigt. Arbeitspläne in Berufsstätten, Raumpläne für Veranstaltungshallen und Stundenpläne in Schulen sowie Hochschulen sind nur einige Beispiele hierfür. Die Erstellung solcher Pläne erfordert umfassende Berechnungen. Die Stunden- und Veranstaltungsplanung ist ein mathematisch schwieriges Problem [Pi14]. Es kann nur mit hohem Aufwand eine optimale Lösung gefunden werden.

[1] Volavis GmbH, Schuckenteichweg 15, 33818 Leopoldshöhe, meyer@volavis.de
[2] Volavis GmbH, Schuckenteichweg 15, 33818 Leopoldshöhe, klocke-wurm@volavis.de
[3] Volavis GmbH, Schuckenteichweg 15, 33818 Leopoldshöhe, busse@volavis.de
[4] Volavis GmbH, Schuckenteichweg 15, 33818 Leopoldshöhe, kuhlmann@volavis.de
[5] Leibniz Universität Hannover, Bereich Informatik, Institut für Systems Engineering, Appelstraße 4, 30167 Hannover, brehm@sra.uni-hannover.de
[6] Volavis GmbH, Schuckenteichweg 15, 33818 Leopoldshöhe, hoffmann@volavis.de

doi:10.18420/in2017_142

Oft müssen detaillierte Daten über vorhandene Ressourcen wie Räume, Mitarbeiter oder Lehrer gesammelt werden. Auch Objekte, die diese Ressourcen verbrauchen, beispielsweise Klassen oder Veranstaltungen, müssen beachtet werden. Es muss eine Kommunikation mit Beteiligten geführt werden, um sicherzustellen, dass es nicht zu unvorhergesehen Komplikationen kommt. Häufig müssen Änderungen aufgrund äußerer Einflüsse vorgenommen werden, sollte zum Beispiel ein Raum kurzfristig nicht verfügbar sein oder ein Vortragender ausfallen.

Bei der Erstellung von Plänen werden häufig Mitarbeiter als Planer eingesetzt. Sie haben die Hoheit über die Pläne, fügen erforderliche Daten zusammen und wägen Wünsche der Belegschaft gegeneinander ab. Sie sind der zentrale Punkt bei der Planerstellung. Diese Privilegien rufen ein nicht zu unterschätzendes Konfliktpotenzial herbei. Die Planer müssen sicherstellen, dass die Pläne realisiert werden können. Bei der Beachtung von Wünschen der Belegschaft müssen sie auf Fairness achten, andernfalls kann es zu Streitigkeiten und Neid zwischen den Beteiligten kommen. Sollte ein erstellter Plan abgelehnt werden, muss sich der Planer darum kümmern, den gesamten Prozess neu anzustoßen. Er muss von Neuem Absprachen mit den Beteiligten führen und vorhandene Fehler beseitigen.

Die Rolle des Planers und der zuvor beschriebene Prozess der Planerstellung werden an Hand des Schaubildes in Abb. 1 verdeutlicht. Der Planer verwendet üblicherweise eine der existierenden, klassischen Softwarelösungen, um entsprechende Pläne zu erstellen. Diese Software errechnet auf Basis der eingegebenen Informationen mögliche Pläne.

Alle dazugehörigen Abstimmungen zur Planung werden allein vom Planer und ohne Unterstützung durch die Software koordiniert. Die Ausbildung dafür erfolgt individuell. Das „Anlernen“ eines zukünftigen Planers erfolgt i.d.R. durch Kollegen, die das Amt abgeben, weil sie in Ruhestand gehen. Da die Aufgabe sehr zeitaufwändig ist, wird häufig eine Arbeitsermäßigung gewährt. Im Vergleich dazu wird diese Aufgabe an internationalen Hochschulen u.a. von zentraler Stelle, den sogenannten „Timetabling Offices“, vorgenommen [SFT93].

1.2 Beispielhafte Veranstaltungsplanung in Schulen

Im Folgenden wird die Erstellung einer Veranstaltungsplanung anhand einer Schule als Beispiel näher erläutert, um einige der bestehenden Probleme zu skizzieren:

Die Erstellung von Stundenplänen bzw. Veranstaltungsplänen wird an Schulen und Hochschulen von erfahrenen Mitarbeitern durchgeführt. Der Planer hat, zusätzlich zu seiner Hauptaufgabe Unterricht zu erteilen, auch die Aufgabe, zu Beginn eines Schuljahres bzw. eines Semesters die Pläne zu erstellen. Der Plan umfasst zunächst die generelle Planung, welche Veranstaltungen angeboten werden können und müssen. Ferner ist neben den Planungen der Veranstaltungen je Raum auch die Zuordnung von Lehrenden und Lernenden zu den jeweiligen Modulen und Unterrichtseinheiten vorzunehmen. Der gesamte Plan

besteht aus Stunden- und Raumplänen und ist zahlreichen Randbedingungen wie z.B. der Kurswahl in Oberstufen und nötigen Raumausstattungen unterworfen. Als Ergebnis der Veranstaltungsplanung erhält jeder Lehrende seinen persönlichen Plan. Jeder Raum hat einen Belegungsplan und jeder Schüler (bei Kurswahl) den individuellen Unterrichtsplan für das kommende Schuljahr bzw. Semester.

Wechselnde Stundentafeln und differierende Jahrgangsgrößen verhindern die jährliche Wiederholung bestehender Stundenraster. Die Wahlfreiheit für Schüler im Kurssystem sowie die Bindung an (fach)räumliche Gegebenheiten stellt eine weitere Herausforderung dar.

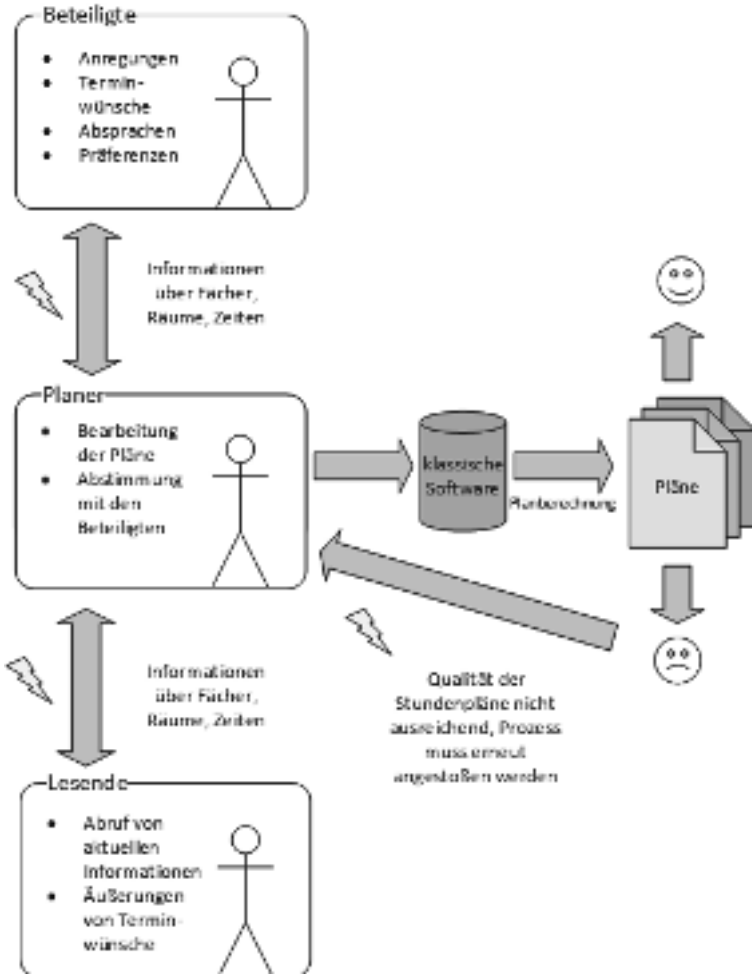


Abb. 1: Klassischer Prozess der Planerstellung

Im Rahmen eines bestehenden Planes müssen regelmäßig Veränderungen durchgeführt

werden, da es aufgrund von Krankheitsfällen und Verschiebungen in Aufgabenbereichen zu einer veränderten Unterrichtsverteilung kommen kann. Sonderveranstaltungen, Pausenaufsichten und Klausuren müssen ebenfalls während des Regelbetriebes eingeplant werden. Nach dem Erfassen der Grunddaten und der Randbedingungen im System erstellt der Verantwortliche die Pläne für die Lehrenden, Lernenden und die Raumpläne. Dabei hat er, bei Nutzung der am Markt erhältlichen Lösungen, alleinigen Zugriff auf die Daten und die Software. Der Prozess der Planerstellung erfolgt iterativ, da trotz größtmöglicher Sorgfalt in den erstellten Plänen Korrekturen nötig sind. Der Vorgang dauert in der Regel einige Tage bis hin zu mehreren Wochen. Die Lehrenden melden zu Beginn des Schuljahres bzw. Semesters die geplanten Lehrveranstaltungen, die erwartete Teilnehmerzahl und die benötigten räumlichen Voraussetzungen (z.B. Fachraum Chemie, Hörsaal mit Audioanlage). Zusätzlich müssen Präferenzen der Lehrenden erfasst werden. Arbeitgeber achten zunehmend auf Familienfreundlichkeit, daher stehen Kollegen ggf. nur in Teilzeit zur Verfügung. Die Betreuung von Kindern oder auch pflegebedürftiger Angehöriger macht es erforderlich, weitere Bedingungen einzuhalten (Abhol- und Bringzeiten von Kindergärten kollidieren mit Randstunden). Die Präferenzen werden dem Stundenplaner i.d.R. schriftlich mitgeteilt (per Mail oder auf Papier) und dann händisch in eine Software übertragen. Da die Zeit und Geduld eines verantwortlichen Planers endlich sind, wird i.d.R. der Plan nur in akuten Notfällen (Kollision von Veranstaltungen etc.) komplett neu erstellt. Eine sinnvolle Optimierung im Sinne einer demokratischen Abstimmung und einer aktiven Beteiligung aller Akteure findet nur bedingt statt.

In der Regel haben Schüler, Studenten und Lehrende lange Pausen zwischen Veranstaltungen, Räume stehen leer, da die Veranstaltungsplanung suboptimal ist. Lehrveranstaltungen müssen auch spätnachmittags oder abends angeboten werden. Zwischen den Beteiligten kommt Neid auf, da es „gute“ und „schlechte“ Pläne gibt.

2 Stand der Technik

Bestehende Software löst das zugrundeliegende Problem der hohen mathematischen Komplexität oft nur ansatzweise. Pillay listet verschiedene Studien auf, die zeigen, dass das Problem der (Schul-)Planerstellung NP-vollständig oder NP-hart ist, abhängig von Randbedingungen der Berechnung des Plans. Darüber hinaus stellt Pillay einen Überblick über die möglichen Lösungsansätze für dieses Problem in übersichtlicher Form dar [Pi14]. Es werden Ideen der vergangenen 25 Jahre beleuchtet, über die im Folgenden kurz berichtet wird:

Bereits 1993 konnten Sheung et al. zeigen, dass eine Optimierung von Plänen mit Hilfe genetischer Algorithmen und Simulated Annealing (einem simulierten Abkühlvorgang) vielversprechende Ergebnisse liefert [SFT93].

2001 konnte Abbas zeigen, dass Zeitplanungsprobleme als Constraint Satisfaction Problem abbildbar sind [AT01]. Auch wird ein Constraint Solver Algorithmus vorgestellt, der diese Art Probleme lösen kann.

Bestätigt wird das auch in aktuellen Arbeiten, siehe Mousa et al. [MES13]. Hier wird neben dem Lösungsansatz der mathematischen (linearen) Optimierung auch auf eine Formulierung der Randbedingungen (Restriktionen) eingegangen. Die Vorgabe der beispielhaften Randbedingung „Lehrer Müller kann dienstags immer erst nachmittags unterrichten, da er vormittags ein krankes Familienmitglied betreut“ wird ebenfalls in Form von Constraints abgelegt und vom Algorithmus berücksichtigt.

Ferner wurden neuronale Netze als mögliche Lösung in Betracht gezogen [CP04]. Carrasco und Pato verglichen zwei unterschiedliche Netzwerke, die beide zufriedenstellende Pläne in annehmbarer Zeit erstellen konnten.

2010 stellten Wilke und Killer den Walk Down Jump Up Algorithmus speziell zur Berechnung von Zeitplänen vor [WK10]. Basierend auf Algorithmen wie Hill Climbing und Simulated Annealing konnten mit ihm zwei wirklichkeitsnahe Probleme gelöst werden, eines zur Schulplanung und eines zur Eventplanung.

Auch im Forschungsfeld des Operations Research wurde das Problem der Planerstellung gründlich untersucht. Neben vielen anderen liefert Bhaduri [Bh09] Ansätze zur Optimierung von Plänen durch die Verwendung eines Genetic Artficial Immune Networks (GAIN). Als Grundlage für seine Arbeiten wurden Constraints in die Kategorien „hart“ bis „weich“ aufgeteilt und entsprechend bei der Berechnung von Lösungen verwendet.

Birbas et al. stellen ein umfassendes Regelwerk zur objektiven Bewertung der Qualität von Plänen bereit [BDH08]. So ist es möglich, die erzeugten Pläne für Lehrer und Schüler auf Fairness zu prüfen, bevor diese verteilt werden. Ein beispielhaftes Qualitätskriterium ist die durchschnittliche Verweildauer von Lehrern bzw. Schülern in Räumlichkeiten der Schule inklusive ggf. unproduktiver Freistunden. Zudem bestehen Vorarbeiten, die zeigen, dass eine parallele Bearbeitung des Timetabling Problems zu einer erheblichen Zeitersparnis führen kann [Sr09].

Darüber hinaus kann die Verwendung von GPUs in Kombination mit einer Parallelisierung die Berechnungsgeschwindigkeit noch weiter verbessern. Bozejko et al. zeigen dies bei der Verwendung eines Tabu-Search-Algorithmus zur Planerstellung, der von einer Grafikkarte ausgeführt wird [BGW14].

Das technische Problem der Optimierung von Plänen ist also bereits gründlich untersucht worden. Vielversprechende Algorithmen wurden prototypisch implementiert und können nun weiterentwickelt bzw. angewendet werden.

Es gibt eine Vielzahl von Systemen auf dem Markt, die bereits einen Teil dieser Technologien nutzen. Einige davon werden im Folgenden vorgestellt:

Als Marktführer für klassische Software zur Erstellung von Plänen von Unterrichtstunden in Deutschland und Österreich gilt die Firma Gruber+Petters aus Österreich. Die Software Untis[7] ist seit vielen Jahrzehnten an zahlreichen Schulen im Einsatz. Hauptkritikpunkt der Anwender sind neben dem Lizenzmodell die unübersichtliche Oberfläche und der begrenzte Funktionsumfang. Gruber+Petters bietet hochpreisige Schulungen an, um die Anwender in der Bedienung der Software zu schulen. Anpassungen und Aktualisierungen finden nur sehr schleppend Einzug in neue Programmversionen. Seit kurzem ist das Programm mehrplatzfähig, d.h. es kann mehr als ein Verantwortlicher am Plan arbeiten. Die automatische Berechnung der Pläne nimmt auch auf aktuellen Rechnern sehr viel Zeit in Anspruch.

Als Alternative für kleinere Schulen hat sich die Software svPlan[8] der Fa. Haneke Software einen Namen gemacht. Kombiniert mit Weblösungen wie IServ[9] können Pläne und Änderungen im Web veröffentlicht werden. Der Funktionsumfang dieser Softwareprodukte ist jedoch gering, so dass ein Einsatz an größeren Schulen bzw. Hochschulen nicht erfolgt.

Das Projekt University Timetabling[10] bietet eine Open Source Software an. Besonderes Augenmerk wird hier auf eine Erweiterbarkeit mit Algorithmen zur effizienten Planung von Unterrichtsstunden gelegt. Aus diesem Projekt stehen Algorithmen für eine automatisierte Planung zur Verfügung, die erfolgreich getestet wurden und im Rahmen der International Timetabling Competition 2007 besonders erfolgreich waren. Ein Nachteil ist die Oberfläche der Software, die zu wenige Funktionen bietet, um in der Praxis Verwendung zu finden.

Alle genannten bestehenden Lösungen basieren auf dem Ansatz, dass ein oder mehrere zentrale Planer die Daten erfassen müssen. Es sind allerdings keine Vorkehrungen zur gleichzeitigen Bearbeitung von Ein- und Ausgangsdaten vorgesehen. Insbesondere ist nicht berücksichtigt, dass ein Feedback zu Plänen und die jeweiligen Aktualisierungen zeitnah und konsistent an alle beteiligten Akteure übermittelt werden sollten. Eine transparente, d.h. nachvollziehbare, Erstellung von Plänen ist bisher nicht möglich.

Dabei zeigen wissenschaftliche Untersuchen, dass die Einbeziehung der Mitarbeiter einen positiven Einfluss auf die Unternehmensbindung und somit auch auf die Zufriedenheit haben kann [La15].

Trotz des wissenschaftlichen Belegs, dass Verfahren zur kollaborativen Planerstellung sinnvoll sind, werden solche bisher nur marginal am Markt angeboten. Dieser Umstand ist darauf zurückzuführen, dass das Problem der räumlichen und zeitlichen Planung von Veranstaltungen und Unterrichtsstunden nicht ausschließlich eine technische, sondern auch eine organisatorische Herausforderung darstellt.

[7] Untis: http://www.untis.de/, zuletzt besucht am 03.04.2017
[8] svPlan: http://www.haneke.de/SvPlan.html, zuletzt besucht am 03.04.2017
[9] IServ: https://www.iserv.eu/, zuletzt besucht am 03.04.2017
[10] Unitime: http://www.unitime.org/, zuletzt besucht am 03.04.2017

3 VeraPlan

3.1 Zielsetzung

Um einige der Probleme bei der Planerstellung aufzufassen und auf moderne Weise zu lösen, wird die Planungssoftware VeraPlan implementiert. Besonders die folgenden zwei Schwierigkeiten der Planerstellung werden fokussiert: die mitunter hohe Berechnungsdauer sowie die mangelnden Möglichkeiten zur Kollaboration.

Trotz der zahlreichen Algorithmen zur Berechnung und Bewertung von Plänen sowie den dafür entwickelten Optimierungsverfahren erfordert eine Lösung dieser Aufgabe hohe Rechenleistung. Kleinere Einrichtungen haben schlicht nicht die IT-Infrastruktur um Berechnungen dieser Art in einem annehmbaren Zeitrahmen selbst vorzunehmen. Um dies zu beschleunigen, setzt VeraPlan auf ein Auslagern der Berechnung auf mietbare Serverfarmen mit hoher Leistung.

Um eine Kollaboration an der Planerstellung zu ermöglichen, wird VeraPlan als Webanwendung ausgeliefert. Durch ein modulares Design der Oberflächen kann auf die Anforderungen jeder unterschiedlichen Beteiligungsart eingegangen werden. Ein internes Nachrichtensystem dient zur Kommunikation innerhalb der Anwendung. Verschiedene Rollen stellen sicher, dass es nicht zu Komplikationen bei der Entscheidungsfindung kommt.

3.2 Berechnung der Pläne

VeraPlan optimiert die Zeit zur Berechnung von Plänen, in dem es diesen Vorgang an externe Dienste auslagert. Das ermöglicht Zugriff auf eine deutlich höhere Performanz als an vielen Einrichtungen denkbar ist. So stellt beispielsweise Amazon mit dem Elastic Compute Cloud[11] Service eine Möglichkeit zur flexiblen Miete von Rechenleistung bereit. Leistungsstarke Produkte wie die X1-Instances[12] mit bis zu 128 virtuellen Kernen und 1952 GiB RAM können die Berechnungen zur Planerstellung deutlich schneller ausführen als typische Desktopsysteme. Gezahlt wird nur für jede angefangene Stunde Rechenzeit.

Um die Auslagerung des Planberechnungs-Algorithmus optimal gestalten zu können, setzt VeraPlan auf eine verteilte Systemarchitektur, die in Abb. 2 dargestellt wird. Der Algorithmus wird dabei auf Systemen von IaaS[13]-Anbietern wie Amazon EC2 ausgelagert.

Einrichtungen, die VeraPlan verwenden, betreiben lediglich die Verwaltungssoftware zur Speicherung der planrelevanten Daten und Bereitstellung verschiedener Clientsysteme. Wird von der Verwaltungssoftware die Berechnung neuer Pläne angestoßen, wird eine Anfrage an eine Zwischensoftware gesendet.

[11] Amazon EC2: https://aws.amazon.com/de/ec2/
[12] https://aws.amazon.com/de/ec2/instance-types/, zuletzt besucht am 07.04.2017
[13] IaaS: Infrastructure as a Service, Rechensysteme zur Miete

Diese in Abb. 2 als Scheduling System bezeichnete Software ist für die automatische Buchung von mietbarer Leistung je nach erforderlicher Kapazität zuständig.

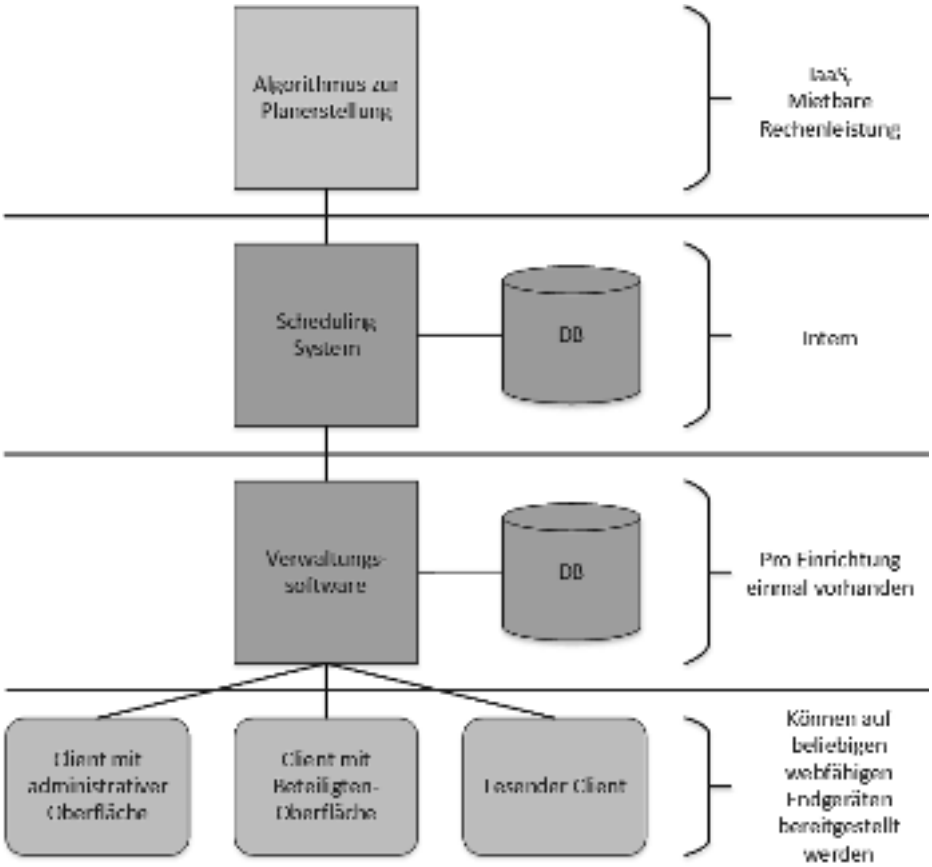


Abb. 2: VeraPlan verteilte Systemarchitektur

Anschließend muss ein Informationsaustausch zwischen dem Verwaltungsserver und dem System zur Berechnung der Pläne über den Scheduler erfolgen. Hierzu ist es erforderlich, die Daten der Einrichtungen zu anonymisieren und in ein verwertbares Format zu übertragen.

Nach erfolgreicher Berechnung der Pläne können diese zurück an die Einrichtungen versendet und de-anonymisiert werden. Eventuelle händische Anpassungen ermöglichen eine noch individuellere Gestaltung der Pläne.

Infrastrukturschwache Einrichtungen haben so die Möglichkeit, Zugriff auf aktuell berechnete Pläne in kurzer Zeit zu erhalten.

3.3 Kollaboratives Arbeiten

Neben der technischen Verbesserung zur optimalen Planberechnung werden die Mitarbeiter bei der Entscheidungsfindung näher mit einbezogen und können an der Planerstellung partizipieren. Hierfür müssen Kanäle zur kooperativen Zusammenarbeit bereitgestellt werden. Zusätzlich muss auch auf die verschiedenen Rollen der Planbeteiligten eingegangen werden, beispielsweise muss ein Lehrer einen anderen Einfluss auf die Stundenplanung ausüben als ein Schüler.

Zudem muss auf eine hohe Transparenz beim Vorgang der Stundenplanung geachtet werden. „Böse Überraschungen“, wie Entscheidungen entgegen vorher getroffener Absprachen, können nur auf diesem Wege verhindert werden.

Um eine transparente und effiziente Mitarbeit zu ermöglichen, müssen verschiedene Aspekte beachtet werden: Es muss ein durchdachtes Rollen- und Berechtigungskonzept vorhanden sein, es müssen Systeme zur offenen und direkten Kommunikation geschaffen werden und es müssen skalierbare und ansprechende Oberflächen zur Bedienung bereitgestellt werden.

Folgende Rollen mit absteigender Gewichtung sind für VeraPlan vorgesehen:

- Administrativ Planende
- Planungsunterstützende
- Beteiligte
- Lesende

Für jede Rolle ist ein eigenes Client-System zu implementieren. Auf administrativer Ebene muss eine händische Planbearbeitung ermöglicht werden, Formulare für die Aufnahme aller relevanten Informationen müssen bereitstehen und Informationen der Planbeteiligten sind schnell und unkompliziert darzustellen. Pläne müssen anpassbar sein, basierend auf diesen Daten.

Planungsunterstützende müssen in der Lage sein, den administrativ Planenden bei der Ausübung ihrer Tätigkeit zu helfen. Sie können Informationen zur Planung beisteuern, die Organisation lenken sowie Kommunikationsaufgaben übernehmen.

Beteiligte benötigen Einblick in getroffene Vereinbarungen und müssen sich einen Überblick über zur Auswahl stehender Stundenpläne verschaffen können. Auch das Hinzufügen und Bearbeiten zusätzlicher planungsrelevanter Daten kann an die Beteiligten ausgelagert werden. Auch potentielle Terminwünsche sollten von den Beteiligten selbst in das System eingetragen werden.

Lesende Clients hingegen müssen nur in der Lage sein, aktuell geltende oder auch mögliche Alternativen eines Plans darstellen zu können. Eine Funktion zur Äußerung von Wünschen ermöglicht eine, wenn auch minimale, Partizipation an der Planerstellung.

In einer Schule könnten beispielsweise die Lehrenden als Beteiligte eingesetzt werden, während der Hauptverantwortliche zur Planung die Rolle des administrativen Planers einnimmt. Ein ihn unterstützender Lehrer kann bei der Planung behilflich auftreten, um die Organisationslast zu verteilen. Lehrenden wird als Beteiligte eine Plattform geboten, die ihnen eine direkte Kommunikation untereinander und mit den planenden Kollegen sowie eine Vorabsicht auf zur Auswahl stehende Pläne gibt. Lernende, die keinen oder nur sehr geringen Einfluss auf die Planung der Stunden haben, können die aktuellen Pläne jederzeit abrufen, jedoch nicht oder nur sehr gering Einfluss nehmen. Abb. 3 verdeutlicht dies.

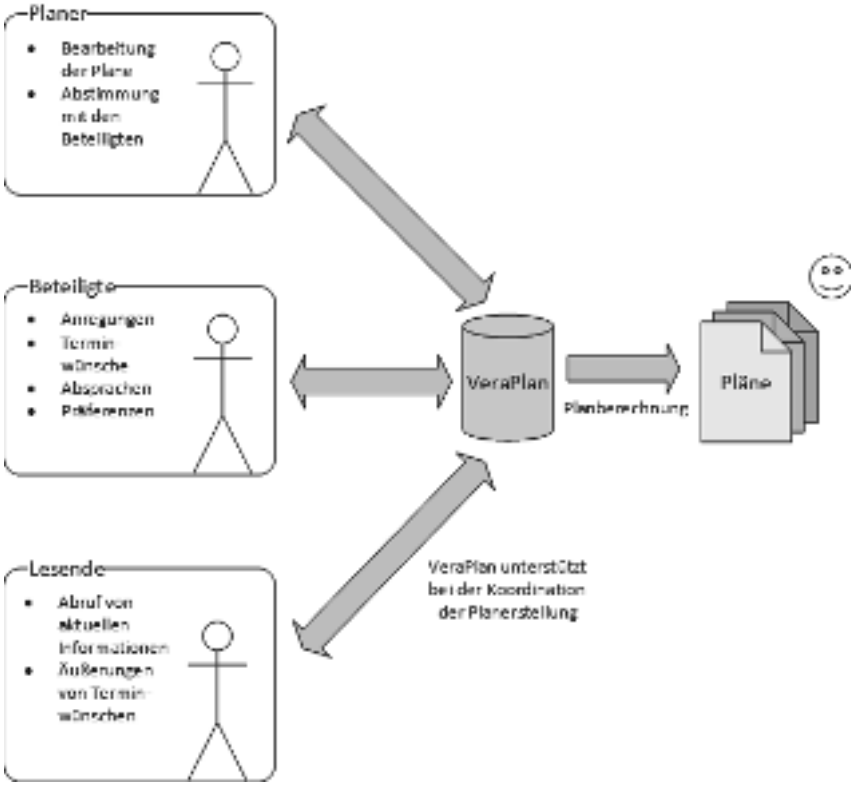


Abb. 3: Prozess der Planerstellung mit VeraPlan

Der Teil von VeraPlan, der direkt in Einrichtungen bereitgestellt wird, ist als Webanwendung vorgesehen. Ein zentraler Server speichert relevante Informationen, beispielsweise für Schulen Daten über Lehrende, Räume und Fächer, und kann diese über verschiedene

Webclients bereitstellen. Dank der hohen Verbreitung von internetfähigen Endgeräten kann für verschiedenste Zwecke ein eigener Client konzipiert werden.

Die Kommunikation unter den Mitwirkenden kann auf verschiedene Arten realisiert werden. Denkbar wäre die Verwendung eines internen Mailsystems, auch ein Dienst einem Instant-Messenger[14] nachempfunden wäre eine mögliche Lösung. VeraPlan ist so in der Lage, besondere Anliegen oder Wünsche der Beteiligten direkt weiter an die administrativen Planenden zu reichen, welche wiederum zeitnah reagieren können. Durch die Einbindung aller Beteiligten kann so ein offener Dialog erfolgen. Treten Probleme auf, kann direkt darauf reagiert werden.

Durch diese Maßnahmen ist ein erstellter und vereinbarter Plan das Ergebnis einer erfolgreichen Zusammenarbeit. Es stellt sich das Gefühl eines gemeinsamen Erfolges ein („unser Plan“). Statt des Wissens Einzelner wird die Erfahrung Vieler zusammengeführt. Durch die Aufteilung der Berechtigungen in verschiedene Rollen wird dennoch eine schnelle Ergebnisfindung ermöglicht.

4 Zusammenfassung

Die Berechnung von Plänen ist eine komplexe Aufgabe. Es erfordert viel Rechenleistung, um in annehmbarer Zeit abgeschlossen zu werden. Vielen Einrichtungen fehlt die nötige IT-Infrastruktur hierfür.

Neben der rein technischen Problematik ist die Erstellung von Plänen auch eine organisatorische Herausforderung. Es müssen Informationen über Räume, Zeiten und Verfügbarkeiten verwaltet werden, Beteiligte treffen untereinander oder mit den Planenden Absprachen und häufig kann es zu kurzfristigen Änderungen kommen, fällt beispielsweise eine Veranstaltung kurzfristig aus.

Zwar gibt es einige Softwarelösungen, um diese Problematiken zu umgehen, oft lassen sie aber im Funktionsumfang oder bei der organisatorischen Unterstützung zu wünschen übrig.

VeraPlan vereint Technologien, um in diesen Bereichen Lösungen bereitzustellen. Durch die verteilte Architektur und das Auslagern der Planberechnung auf mietbare Hochleistungssysteme können auch kleinere Einrichtungen schnell Pläne berechnen lassen. Muss ein Plan neu erstellt werden, kann dies zeitnah erfolgen.

Durch die Implementierung verschiedener Rollen und einer Auslieferung verschiedener Client-Systeme mit unterschiedlichen Bedienmöglichkeiten kann kollaborativ an den Plänen gearbeitet werden. Dienste zur direkten Kommunikation aller Beteiligter sowie die Möglichkeit bestehende Pläne einzusehen sorgen für eine hohe Transparenz. Das aktive Mitwirken an der Planerstellung erhöht die Akzeptanz und ein „Wir-Gefühl“ stellt sich ein.

[14] Instant-Messenger: Dienste zur schnellen und unkomplizierten Kommunikation typischerweise per Textnachrichten über das Internet

VeraPlan verspricht, die Planerstellung in Zukunft zu vereinfachen und Planenden und Beteiligten mehr Zeit für relevantere Aufgaben freizumachen, da Pläne technisch schneller berechnet werden und die Zusammenarbeit unnötige Iterationen verringert. Auch das allgemeine Arbeitsklima kann sich durch die gemeinsame Erarbeitung von akzeptierten Plänen verbessern.

Literaturverzeichnis

[AT01] Abbas, A. M.; Tsang, E. P. K.: Constraint-based timetabling-a case study. In: Proceedings ACS/IEEE International Conference on Computer Systems and Applications. S. 67–72, 2001.

[BDH08] Birbas, T.; Daskalaki, S.; Housos, E.: School timetabling for quality student and teacher schedules. Journal of Scheduling, 12(2):177, 2008.

[BGW14] Bożejko, W.; Gniewkowski, Ł.; Wodecki, M.: Solving Timetabling Problems on GPU. In (Rutkowski, L.; Korytkowski, M.; Scherer, R.; Ryszard, R.; Zadeh, L. A.; Zurada, J. M., Hrsg.): Artificial Intelligence and Soft Computing: 13th International Conference, ICAISC 2014, Zakopane, Poland, June 1-5, 2014, Proceedings, Part II. Springer International Publishing, S. 445–455, 2014.

[Bh09] Bhaduri, A.: University Time Table Scheduling Using Genetic Artificial Immune Network. In: 2009 International Conference on Advances in Recent Technologies in Communication and Computing. S. 289–292, 2009.

[CP04] Carrasco, M. P.; Pato, M.: A comparison of discrete and continuous neural network approaches to solve the class/teacher timetabling problem. European Journal of Operational Research, 2004.

[La15] Landau, L.: Mitarbeiterbindung in Krankenhäusern: Handlungsempfehlungen für das Personalmanagement der Generation Y und Z. Diplomica Verlag, 2015.

[MES13] Mousa, H. M.; El-Sisi, A. B.: Design and implementation of course timetabling system based on genetic algorithm. In: 2013 8th International Conference on Computer Engineering Systems (ICCES). S. 167–171, 2013.

[Pi14] Pillay, N.: A survey of school timetabling research. Annals of Operations Research, 218(1):261–293, 2014.

[SFT93] Sheung, J.; Fan, A.; Tang, A.: Time tabling using genetic algorithm and simulated annealing. In: TENCON '93. Proceedings. Computer, Communication, Control and Power Engineering.1993 IEEE Region 10 Conference on. Jgg. 1, S. 448–451 vol.1, 1993.

[Sr09] Srndic, N.; Pandzo, E.; Dervisevic, M.; Konjicija, S.: The application of a Parallel Genetic Algorithm to timetabling of elementary school classes: A coarse grained approach. In: 2009 XXII International Symposium on Information, Communication and Automation Technologies. S. 1–5, 2009.

[WK10] Wilke, P.; Killer, H.: , Walk Down Jump Up - a new Hybrid Algorithm for Time Tabling Problems, 2010.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 1437

Die Zukunft der HaushaltsarbeIT – Potenziale für den Zweitjob wider Willen

Gerhard Leitner[1], Anton Josef Fercher[1] und Martin Hitz[1]

Abstract: Die meisten von uns haben neben dem Hauptarbeitsplatz einen zweiten – den Haushalt. Die dort anfallenden Tätigkeiten haben vergleichbare Eigenschaften mit jenen der Erwerbsarbeit. Technischer Fortschritt, speziell auch IKT, hat im Haushalt Einzug gehalten und ihn über die vergangenen Epochen hinweg verändert. Die Arbeit zeigt aktuelle technische Entwicklungen wie das Internet der Dinge (IoT) auf und analysiert wie diese den Arbeitsplatz Haushalt zukünftig verändern werden.

Keywords: Internet der Dinge (IoT), Smart Home, Haushaltsarbeit, historische Entwicklungen von Haustechnik

1 Einleitung

Wenn über die Digitalisierung von Arbeitsplätzen nachgedacht wird, fallen zunächst Büroarbeitsplätze, jene in Produktion, Handel und Logistik oder mobile Arbeitsplätze von Vertretern, mobilen Servicedienstleistern oder Einsatzkräften ein. Oft wird nicht an den Arbeitsplatz gedacht, welchen die meisten von uns als Zweitarbeitsplatz innehaben. Damit sind nicht die mehreren Teilzeitjobs gemeint, denen manche nachgehen, sondern der Zweitarbeitsplatz Haushalt. Die dort anfallenden Tätigkeiten kann man als „echte Arbeit“ ansehen, mit allen damit verbundenen Herausforderungen. Aus diesem Grund war der Haushalt bereits in der Vergangenheit lukrativer Markt für Elektronik- und IKT Industrie die dem Endverbraucher Produkte schmackhaft gemacht haben, die die Haushaltsarbeit verbessern sollten. Angesichts aktueller Entwicklungen ist es auch von Interesse den Haushalt der Zukunft – fokussiert auf den Aspekt Haushalt als Arbeitsplatz - im Zusammenhang mit IKT zu betrachten. Historisch betrachtet hat sich der Haushalt laufend den gesellschaftlichen, technischen und infrastrukturellen Bedingungen angepasst und verändert, und vor allem IKT hat in den letzten Jahrzehnten massiv zu Veränderungen beigetragen. Der Beitrag soll beleuchten, welche Möglichkeiten, Herausforderungen und Gefahren eine zunehmende Digitalisierung des Haushalts als Arbeitsplatz mit sich bringt und wie er sich angesichts aktueller Entwicklungen wie dem Internet der Dinge (IoT) in Zukunft verändern könnte.

[1] Alpen Adria Universität Klagenfurt, Institut für Informatik Systeme, Universitätsstrasse 65-67, 9020 Klagenfurt, Österreich, [gerhard.leitner, antonjosef.fercher, martin.hitz]@aau.at

doi:10.18420/in2017_143

2 Historische Betrachtung

Technik im Haushalt ist kein exklusives Phänomen unserer Zeit, bereits in der Antike sind technische Hilfsmittel dazu genutzt worden, um Komfort, Effizienz, Versorgung, Hygiene oder Sicherheit im Haushalt zu verbessern (z.B. Hypocaust, Aquädukt, Bagdir). Die Haushalte in diesen Epochen entsprachen noch nicht dem, was einen heutigen Haushalt charakterisiert. Gesellschaftliche Umbrüche wie das Aufstreben des Bürgertums und die industrielle Revolution haben dazu beigetragen, dass sich Haushalte in Richtung der heutigen Ausprägung entwickelten.

Die Möglichkeiten der vollständigen Eigenversorgung zum Beispiel, wie sie vor diesen Umbrüchen vorherrschten, reduzierte sich kontinuierlich. Haushaltsmitglieder mussten bezahlter Arbeit nachgehen, um den Lebensunterhalt zu verdienen. Dies bedeutete, dass die Organisation des Haushaltes, für die vorher die gesamte Tagesarbeitszeit verwendet werden konnte, nun in kürzerer Zeit, vornehmlich am Tagesrand von Statten gehen musste. Die Abkehr vom Mehrgenerationenhaushalt reduzierte die Möglichkeiten der Arbeitsteilung und erhöhte somit zusätzlich den Arbeitsaufwand für Einzelne. Derartige Entwicklungen öffneten den Markt für technische Hilfsmittel bereits in der Zeit vor der Elektrifizierung, zum Beispiel kompakte Öfen zum Kochen und Heizen [Co98], oder mechanischer Geräte zum Wiederaufbereiten von Wäsche (siehe Abb 1.).



Abb. 1: Wäschemangel (vorne) und Waschmaschine (rechts hinten) der Firma Miele, 1920er-1930er Jahre. Quelle: eigene Fotografie Konrad Zuse Museum Hünfeld, 2016.

Mit der Einführung der Elektrizität wurden diese Entwicklungen weiter forciert, Waschmaschinen, Kühlgeräte, Geschirrspüler oder Staubsauger waren die Vorläufer dessen, was man auch noch heute in der modernsten Form eines Haushaltes - dem Smart Home – vorfindet.

Eine der wesentlichen Zielsetzung für die Anschaffung von technischen Geräten über die verschiedenen Epochen hinweg war es, die Tätigkeiten im Haushalt effizienter, effektiver oder einfacher zu gestalten. Langzeitliche Analysen deuten allerdings darauf hin, dass sich die Erwartungen vor allem hinsichtlich der Reduktion des Aufwandes nicht erfüllt haben. Durch die Möglichkeiten des Staubsaugens beispielsweise, erhöhten sich hygienische Anforderungen, sodass öfter geputzt wurde als vorher, was schließlich in einem erhöhten Zeitaufwand für die Hausarbeit mündete.

Ähnliches ist in Bezug auf die Handhabung von Wäsche zu beobachten. Verbesserungen zur Vergangenheit ergaben sich also eher in der Qualität des Ergebnisses (Sauberkeit) als in investiertem Aufwand [Ed01, Bi04].

Welche Relevanz haben die historischen Entwicklungen und gewonnene Erfahrungen hinsichtlich der zukünftigen, auf weiterer Digitalisierung und IKT aufbauenden Veränderungen des Arbeitsplatzes Haushalt? Zur Diskussion dieser Frage werden die dem aktuellen Stand der Technik entsprechenden Konzepte Smart Home und Internet of Things (IoT) genauer betrachtet.

2.1 Geschichte des Smart Home

Das Streben nach „intelligenter“ Haushalts-Technik ist bereits seit ungefähr 80 Jahren zu beobachten. Nachdem Elektrizität eine signifikante Verbreitung erreicht hatte und unterschiedliche Anwendungsszenarien (neben Geräten zur Unterstützung von Haushaltsarbeit zum Beispiel Elektronik zu Unterhaltungszwecken) möglich waren, schien der nächste logische Schritt eine Erweiterung der Möglichkeiten in Form integrierter Systeme, oder wie es [Ch08] formulieren – *„ ..die natürliche Erweiterung von Elektronik und informations- und Kommunikationstechnologien.“* In diesem Sinne wurde bereits 1939 auf die Vorzüge von Technik des elektrischen Hauses der Zukunft Bezug genommen. Der Artikel im Popular Mechanics Magazine [Pm39] hob das Effizienzsteigerungspotential von Technik im Vergleich zur konventionellen Methode hervor und prognostizierte eine auf Vernetzung und Fernsteuerung aufbauende positive zukünftige Entwicklung. Darauf aufbauend gab es in den folgenden Jahrzehnten immer wieder mehr oder weniger ernst zu nehmende Nachfolgekonzepte. Ein in diesem Zusammenhang hervorzuhebendes Beispiel ist der Honeywell Kitchen Computer. Dieser sollte der Hausfrau der 1950er Jahre dabei helfen den Variantenreichtum beim Kochen zu erhöhen. Eine Vielfalt an im Computer gespeicherten Rezepten sollten über binärcodierte Ein- und Ausgabe abgerufen und individuell kombiniert werden können. Die Bedienung sollte in einer zweiwöchigen Schulung erlernt werden, die auf einer Fortran-ähnlichen Programmiersprache aufgebaut war. Wahrscheinlich aufgrund dieser Tatsache und dem mit jenem eines Einfamilienhauses vergleichbaren Preis wird

kolportiert, dass kein einziges Exemplar des Kitchen Computers je verkauft wurde. Die Zielsetzung des Produkts lässt sich allerdings retrospektive nicht mehr exakt eruieren, die Hauptintention war vermutlich aber nicht der tatsächliche Verkauf, sondern die Auslotung des Marktpotenzials für solch extravagante Geräte.

Auch den Jahrzehnten danach folgten immer wieder Konzepte und Produktideen, welche die Möglichkeiten Haushaltsarbeit mittels Technik zu verbessern aufzuzeigen versuchten, beispielsweise etwa zur Jahrtausendwende der intelligente Kühlschrank. Dieser sollte die Hausarbeit insofern erleichtern, als dass über direkten Internetzugang (Bildschirm am Kühlschrank) Rezepte abrufbar waren und die (Wieder-)Beschaffung von im Kühlschrank befindlichen Lebensmitteln automatisiert erfolgen konnte. Obwohl im Vergleich zum Honeywell Kitchen Computer als ernstgemeintes Produkt konzipiert, dürften die Verkaufszahlen dieses Kühlschrankes ebenso weit hinter den Erwartungen gelegen haben.

Mit der Vorstellung neuer Produkte wird regelmäßig das Versprechen gegeben, dass die flächendeckende Verbreitung smarter Haushaltshelfer kurz bevorsteht.

Diese Versprechen ist bis dato allerdings nicht eingelöst worden. Der Begriff Smart Home und das zugrundeliegende Konzept wurde im 1984 öffentlich vorgestellt [Ha03], ungefähr zur gleichen Zeit als IBM den Personal Computer (PC) präsentiert hat.

Im Vergleich zum PC (und dessen aktuelle Erscheinungsformen wie Laptop, Tablet, Smartphone), der eine Penetration von mehr als 70% hat [Oe14], führen „echte“ Smart Home Systeme ein Schattendasein, und sind in nur etwa 10-20% der Haushalte präsent [Gr13].

Was die Gründe dafür sein können und inwieweit aktuelle Konzepte wie das Internet der Dinge grundsätzlich dazu geeignet bzw. besser geeignet ist als bisherige Ansätze, die Verbreitung von dem aktuellen Stand entsprechender Technik zur Unterstützung von Haushaltsarbeit zu verbessern, soll im nächsten Abschnitt analysiert werden. Dafür werden die Akzeptanz beeinflussende Faktoren aus verschiedenen Perioden und unterschiedliche Produktgruppen analysiert.

3 Akzeptanzkriterien für technische Produkte im Haushalt

Die Erfahrungswerte aus der Prä-Smart Home / Prä-IoT Zeit lassen sich folgendermaßen zusammenfassen: Technologie wird nur akzeptiert, wenn sie einen entsprechenden Mehrwert bringt und der Nutzen in entsprechender Relation zum Aufwand steht. Den Vorteilen einer Anschaffung eines Honeywell Kitchen Computer stünden demnach sowohl der hohe Preis als auch die erforderliche Aneignung einer komplexen, künstlichen Interaktions-Sprache gegenüber. Aber auch weniger extravagante Produkte und Funktionen sind diesbezüglich zu hinterfragen, wie es [Ha06] an einigen Beispielen illustriert. Eine Spülmaschine mit Fernbedienung ist sinnlos, da man diese händisch be-

und entladen muss. Somit kann die Steuerung gleich direkt am Gerät vorgenommen werden. Potenzielle Schwächen eines intelligenten Kühlschrankes zeigen sich in fehlender Flexibilität bzw. Adaptivität. *„Auch wenn der Kühlschrank feststellen kann, dass das Bier verbraucht worden ist, wie kann er wissen ob es nachbestellt werden soll? Es könnte sein, dass der Besitzer die Marke nicht mehr mag oder in letzter Zeit zu viel getrunken wurde und das Haus für eine Weile „trocken" bleiben soll".* [Ha06, S. 247]

Auch hinsichtlich der Akzeptanz von Produkten der Smart Home / IoT Generation gibt es mittlerweile längerfristige Studien und entsprechende Erfahrungswerte. Diese betreffen zum Beispiel Staubsaugerroboter. Die gewonnenen Erkenntnisse sind mit jenen des Prä-Smart Zeitalters vergleichbar. Die Technik passt sich demnach noch immer zu wenig an die Bedürfnisse und Lebensumstände der Benutzer an. *„Es scheint als ob es (der Roboter) ein eigenes Leben führt"* [dG17, Fi13]. Nach wie vor mangelt es an einer Integration von Technik in das Ökosystem der Benutzer. Hinsichtlich des Nutzens zeigt sich, dass ein wesentliches – wenn nicht das wesentlichste - Kriterium, die Reinigungsleistung nicht zufriedenstellend ist und oftmals zusätzlich händisch geputzt werden muss. In einem Fall mussten sogar die baulichen Gegebenheiten an den Roboter angepasst werden [Fi13]. Außerdem kritisieren Benutzer, dass die Bedienung und Programmierung der Geräte ebenfalls zu wünschen übriglässt. Nicht verwunderlich also, dass ein signifikanter Prozentsatz der befragten Nutzer die Verwendung des Gerätes eingestellt hat. Die Erkenntnisse decken sich mit den Befürchtungen (hoher Aufwand, wenig bis kein Mehrwert), die auch in der Vergangenheit in Bezug auf Haushaltstechnik relevant waren [Ha06].

4 Aktueller Stand der Technik

Wie [dG17] anmerken, können technische Eigenschaften und soziale Charakteristika des Ökosystems in welchem Technik eingesetzt werden soll, nicht voneinander getrennt betrachtet werden. Technologie scheint zwar technisch zu einem gewissen Grad ausgereift, ist aber „nicht robust genug" um außerhalb eines Labors eingesetzt werden zu können [dG17]. Diese mangelnde Anpassungsfähigkeit zeigt sich unter anderem auch an den konzeptuellen Ansätzen auf denen die Produkte aufgebaut sind. Der Haushalt ist in der Betrachtungsweise des Bewohners / Benutzers ein ganzheitliches System, in dem sich einzelne Komponenten integrieren sollten. Das war in der Vergangenheit für die Gestaltung der Räume, für die Möblierung und grundsätzlich auch für die Integration von technischen Geräten (aufgrund entsprechender Normen) möglich. Standardmaße für Einrichtungskomponenten (z.B. Küchen, Badezimmer) oder Normen für Elektroinstallationen konnten als halbwegs gesicherte Basis dafür gesehen werden, dass ein Möbelstück oder Elektrogerät zur vorhandenen Infrastruktur zu Hause passt. Aber bereits bei der Verbreitung von Unterhaltungselektronik gingen Hersteller dazu über proprietäre Bedienungskonzepte zu forcieren und Interoperabilität zu erschweren. Wenn ein Stecker überhaupt in das Gerät eines anderen Herstellers passte, hieß das noch lange nicht, dass auch entsprechende Signale darüber ausgetauscht werden konnten.

Fernbedienungen haben einen hohen Prozentsatz an identischer Funktionalität, unterscheiden sich aber deutlich hinsichtlich herstellerspezifischen Designs und Interoperabilität. Nielsen [Ni04] spricht deshalb bereits in der Prä-IoT Ära von Fernbedienungs-Anarchie.

Dieser anarchische Zustand könnte sich im angestrebten Vollausbau von Smart Home/IoT noch verschlimmern, denn zu den Unterschieden im Bereich der Hardware kommt noch der Variantenreichtum der Software hinzu. Wir kehren an dieser Stelle zurück zu den in Abbildung 1 gegeizten Geräten und zeigen zu Anschauungszwecken beispielhaft Geräte (Abbildung 2) aus der aktuelle Produktserie desselben Herstellers (die repräsentativ für andere Hersteller in diesem Marktsegment sind).



Abb. 2: Waschmaschine und Trockner, Miele, 2016.
Quelle: eigene Fotografie

Technisch hat sich vieles verändert, sowohl auf sichtbarer als auch auf unsichtbarer Ebene. Die Geräte sind typische Vertreter der IoT-Generation, können lokal vernetzt werden und sind internetfähig. Über einen entsprechenden Hardware-Gateway kann in Kombination mit WLAN und einer App der Status der Geräte abgefragt und auch Schaltvorgänge vorgenommen werden. Für den Standardnutzer bedeutet dies jedoch in aktueller Form einen nicht unwesentlichen finanziellen, technischen und zeitlichen Zusatzaufwand. Für jedes Gerät ist eine eigene Infrastruktur erforderlich, entsprechende Konfiguration (z.B. Port Forwarding) ist notwendig, um den Zugriff auch von außerhalb des Zuhauses zu ermöglichen. Die mit der IOT-Idee vollzogene Vereinheitlichung hin zu den standardisierten IP/TCP Schnittstellen ist grundsätzlich begrüßenswert, jedoch werden auf höheren (Protokoll-)Ebenen wiederum individuelle, oft herstellerspezifische Kommunikationslösungen eingesetzt. Für die Bedienung ist jeweils eine eigene App bzw. ein eigenes Interface notwendig. Überlegen sich also Personen in ihrem Haushalt mehrere Geräte smart zu machen, so bedeutet dies aktuell den Betrieb von paralleler Infrastruktur sowohl auf Hard- als auch auf Softwareebene (siehe Abbildung 3).



Abb. 3: Zählerschrank mit mehreren Smart Home/IoT Gateways (links), Ansichten von Steuerungsapps auf einem Smartphone (rechts). Quelle: eigene Fotografie

Um es dem Durchschnittsnutzer trotz technischer Komplexität dennoch möglich zu machen die Geräte selbst zu konfigurieren und zu programmieren, werden oft Zugeständnisse bei Sicherheit oder Privatsphäre gemacht, wie z.B. [Dm17] auf beunruhigende Weise aufgezeigt haben.

5 Conclusio / Ausblick

Sowohl in der Vergangenheit als auch in der aktuell vorherrschenden Marktstrategie der Mehrheit der Hersteller, ist der Mehrwert aktueller Haushaltstechnik für den Endverbraucher nicht gegeben. Eine der wesentlichen Schwächen sind die proprietären Hard- und Softwareplattformen, die den Konsumenten aufoktroyiert werden und es immer schwerer machen, den Haushalt als ganzheitliches, integriertes System zu sehen – was eigentlich das größte Potential aktueller IKT bzw. IoT darstellt.

In diesem Zusammenhang begrüßenswerte Ansätze sind, z.B. OpenHAB / Eclipse Smart Home, die es zukünftig einfach ermöglichen sollen, auch auf unterschiedlichster Iot/Smart Home Hard- und Software basierende Teilsysteme bzw. Komponenten in ein individuelles, ganzheitliches System zu integrieren. Damit ist zumindest der Aspekt der einheitlichen Bedienung (und eventuell auch Programmierung) abgedeckt, und könnte so dazu beitragen Haushaltsarbeit effizienter zu gestalten. Hinsichtlich der Funktionalität müssen allerdings weitere Entwicklungen folgen. Die beschriebenen Erfahrungen mit Staubsaugerrobotern zeigten auch, dass die Reinigungsstrategie der Roboter auf suboptimalen bzw. nicht den Präferenzen / Strategien des Benutzers entsprechenden Algorithmen basiert. Auf Basis von integrierten Plattformen wie OpenHAB könnte in Zukunft die Möglichkeit geschaffen werden, dass automatische Systeme aus den Tätigkeiten der Benutzer lernen, z.B. den Pfad und die Betriebszeiten des

konventionellen Staubsaugers aufzeichnen und darauf basierend den Reinigungszyklus vollziehen. Waschmaschine und Trockner könnten zum Beispiel auf Basis von Wetterdaten berücksichtigen, wann ein guter Zeitpunkt zum Wäsche waschen wäre und ob die Wäsche eher zum Trocknen aufgehängt werden kann (Energiesparpotential) bzw. maschinell getrocknet werden muss. Kühlschränke könnten mit elektronischen Kalendern verbunden sein und Daten analysieren, um beispielsweise Vorschläge für Einkäufe zu machen. Welche konkreten Möglichkeiten es diesbezüglich gibt und wie es hinsichtlich der Akzeptanz der Möglichkeiten aussieht ist Gegenstand der weiteren Forschung der Arbeitsgruppe.



Abb. 4: Ansichten des Xperience Labs der Alpen Adria Universität Klagenfurt
Quelle: eigene Fotografie

In den kürzlich etablierten Räumen des Xperience Labs der Alpen-Adria Universität Klagenfurt (siehe Abbildung 4) werden zukünftige Konzepte der Hausarbeit entwickelt, und können mithilfe von OpenHab implementiert und simuliert werden. Möglichkeiten und Schwächen können so analysiert und die Konzepte weiterentwickelt werden. Zukünftiger Plan ist ein Deployment in Real-Welt Umgebungen und die Integration von weiteren, die Haushaltsarbeit potenziell unterstützenden Geräten und Erweiterung der Funktionalität auf Basis von Empfehlungssystemen (Recommender Systeme). Der Fokus liegt dabei auf Usability und User Experience. Denn wie es [Da06] formulierte: *„Menschen wollen nicht Geräte steuern und kontrollieren, sie möchten durch IKT ihr Leben besser im Griff haben“.*

Literaturverzeichnis

[Bi04] Bittman, M., Rice, J. M., & Wajcman, J. Appliances and their impact: The ownership of domestic technology and time spent on household work. The British Journal of Sociology, 55(3), 2004, 401–423.

[Ch08] Chan, M., Estève, D., Escriba, C., & Campo, E. A review of smart homes – Present state and future challenges. Computer Methods and Programs in Biomedicine, 91(1), 2008, 55–81.

[Co98] Cowan, R. S. How we get our daily bread, or the history of domestic technology revealed. Magazine of History, 12, 1998, 9–12.

[Da06] Davidoff, S., Lee, M. K., Yiu, C., Zimmerman, J., & Dey, A. K. Principles of smart home control. In UbiComp: Ubiquitous computing. Berlin/Heidelberg: Springer, 2006, 19-34

[dG17] De Graaf, M., Allouch, S. B., & Van Dijk, J. Why Do They Refuse to Use My Robot? Reasons for Non-Use Derived from a Long-Term Home Study. Proc. ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction. 2017.

[Dö17] Dölle und Malottki. Digitaler D-Day c't 8/17, 2017, 72-75

[Ed01] Edwards, W. K., & Grinter, R. E. At home with ubiquitous computing: Seven challenges. In: Ubiquitous computing. Berlin/Heidelberg: Springer, 2001, 256-272.

[Fi13] Fink, Julia, et al. Living with a vacuum cleaning robot. International Journal of Social Robotics 5.3, 2013, 389-408.

[Gr13] Greenwich Consulting. Smart home – Hope or hype? http://greenwich-consulting.com/sites/greenwich-consulting.com/files/Thoughts-Jan2013_1.pdf. 2013, last visited: 29.06.2017

[Ha03] Harper, R. Inside the smart home. London: Springer, 2003.

[Ha06] Hamill, L. Controlling smart devices in the home. The Information Society, 22(4), 2006, 241–249.

[Ni04] Jakob Nielsen, Remote control anarchy. https://www.nngroup.com/articles/remote-control-anarchy/ , 2004, last visited: 29.6. 2017

[Oe14] OECD Computer, internet and telecommunication. OECD Factbook 2014: Economic, environmental and social statistics. http://www.oecd-ilibrary.org/economics/oecd-factbook-2014_factbook-2014-en , 2014, last visited: 29.6.2017

[Pm39] Popular mechanics magazine, the electric home of the future. http://blog.modernmechanix.com/the-electric-home-of-the-future/, 1939, last visited: 29.06.2017

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 1447

New Arrangement Opportunities and Safety Challenges for Offices of the Future

Jan Haase[1]

Abstract: This paper gives an overview on trends in building automation which have an impact on offices of the future, namely alternative (virtual) desk space arrangements, and work safety (fire prevention and protection), with the usage of Augmented Reality devices such as Google Glass or Microsoft HoloLens.

Keywords: Offices of the Future, Building Automation, Virtual Desks, Fire Protection, Work Safety

1 Introduction

In the last years, the area of building automation has seen an upsurge. The introduction of electronics into buildings led to many innovations. This ranges from clever treatment of queues in front of elevators to intelligent heating and cooling systems, predicting the need for a comfortable temperature in a room and preparing accordingly; from automatic energy saving in currently unused rooms to intrusion detection and defense. Furthermore, the topic of the Internet of Things (IoT), which was defined as "a global infrastructure for the information society, enabling advanced services by interconnecting (physical and virtual) things based on existing and evolving interoperable information and communication technologies" [ITU] brings even more opportunities due to the fact that many previously unrelated sensors and actuators now are able to be accessed in a combined way, netting the building control system a big information advantage compared to older buildings.

This paper focuses on two changes that can be achieved using Augmented Reality (AR) devices like the Google Glass or the Microsoft HoloLens. AR has become available and known to a wider audience due to Google's and Microsoft's advertisements, but also due to the success of the game Pokemon Go [Pok], which is played using a smart phone with GPS. The next Section highlights changes to furniture and layouts in office buildings, Section 3 shows new possibilities for disaster management in buildings, e.g., fires.

[1] Universität zu Lübeck, Institut für Technische Informatik, Ratzeburger Allee 160, D-23562 Lübeck, haase@iti.uni-luebeck.de

doi:10.18420/in2017_144

2 Floor plans and room division in modern office buildings

In the last decades, the concept of cubicles (see Fig.1) enforced the uniformity of workplaces, but they also brought some drawbacks, some of them of psychological nature: The employees were alone in their (tiny) cubicles, but in most cases the sounds coming from neighboring cubicles still distracted the worker. The idea was to be able to see neighbors when the employee stood up, but be alone and mostly undisturbed when seated. However, some studies suggest that sitting with an unshielded back (i.e., with the back to the entrance to the cubicle) and deprived of sunlight makes employees depressed [Fr15].



Fig. 1: Cubicles (from [P1])

New ways of arranging desks in open-plan offices led to much more relaxed and roomier work spaces (see Fig.2). This of course brought more noise distractions but helped have a better working atmosphere due to better contact to co-workers [BCK02].

An even roomier arrangement of desks came up a few years ago when the hard connection between a worker and his workspace was cut; any worker can use any workspace and thus change the views and neighbors easily. This was possible due to the finally indeed mostly paperless office; most work activities are carried out at the computer and thus the exact location of the desk of it is not important anymore: All data is not read from files on desks but located on screen, anyway. However, personal memorabilia have to be cleared away at the end of the day in order to potentially offer the work place to another employee the next day. In most companies the employees have

their own mobile file pedestal that can be moved to the desired work space or desk when commencing work.



Fig. 2: Open office space (from [P2])

Google, Facebook, Twitter and other big companies took yet another step. After some studies suggested that employees work much better if they are happy and relaxed, they changed the layout of their employees' offices completely (see Fig. 3a and Fig. 3b, more examples can be found at [OSn). The reason is to make the worker *like* to work in the office and spend time there. If an office resembles a lounge, the boundaries between work and leisure become blurred. Moreover, if relaxation opportunities area available at the work place (such as couches, swimming pools, or even specifically hired massage staff), there is no real need to leave early to get home. In this context, the term "bleisure" is spreading, which is a combination of "business" and "leisure" [Bu17].

The seemingly costly interior fittings help the employees feel welcome, refreshed, relaxed, and foremost, appreciated. In contrast, typical cubicle situations might more likely lead to depressed moods. The daily comic strips of Dilbert (drawn by Scott Adams) [Dil] often picks this out as a central theme.



Fig. 3a: Modern office space which resembles lounges at Twitter (from [P3a])



Fig. 3b: Modern office space which resembles lounges at Nokia (from [P3b])

Current trends now enable the worker to take the whole workspace with him, even

outside the building. This is possible by use of data glasses like the Microsoft HoloLens (see Fig. 4).

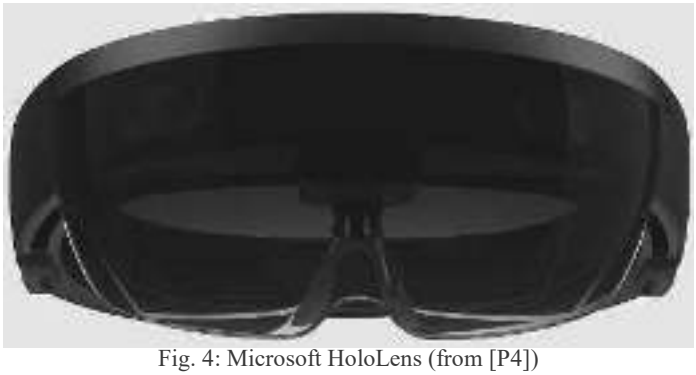


Fig. 4: Microsoft HoloLens (from [P4])

There is no need for a desk carrying a monitor, since all displayed data is visible in the holographic device. Only the problem of data manipulation (i.e., access to a keyboard or similar) is yet to be settled. In the near future, comfortable as well as functional chairs with a mounted keyboard and mousepad seem to be the realistic prediction. Later it might even be possible to interact more and more by gestures. Currently, this is still rather part of Science Fiction movies like "Minority Report" with Tom Cruise. A drawback of (prolonged) control by gestures might however be a certain fatigue resulting from the wide arm movements needed.

The idea of the new work space enabled by AR is as follows: The HoloLens or similar Augmented Reality device is able to augment the visible office space by additional items like furniture. When getting nearer, the texture being used is getting more detailed. This can be used to create virtual displays drifting in mid-air which can display anything – the only limiting factor might be the maximum resolution of the AR device being used.

If more virtual display space is needed, e.g., if bigger tables, more data or more windows are to be displayed, it can be created in any free space around the user. This way the user could sit in a circle of displays or even one display encompassing 360 degrees. Furthermore, the space above and below the typical display location can be used to create even more space. However, the typical user will be ready to use only a specific part of his vertical field of vision. Higher or lower parts could only be seen when the user turns his head up and down. The effect would be similar to a video wall (see Fig. 5), but equidistant to the user, and of course invisible to bystanders.

The fact that augmented displays are only visible for users in the same virtual context. Thus different users can reuse the space between them, creating effectively overlapping displays which are not visible to the other.



Fig. 5: Video wall at CES2012 (from [P5])

Surprisingly, this idea was already suggested in 1965 by Ivan E. Sutherland [Su65]. His first prototype which was built in 1968 is depicted in Fig. 6.

A still futuristic step further would be the use of contact lenses instead of a structure worn in front of the eyes like glasses. This would make the use of AR devices be almost invisible to other people and would relieve the user from the currently heavy weight of devices like the HoloLens with can lead to neck pain. However, work seems to be already ongoing: Samsung already applied for a patent for a smart contact lens that puts an embedded display and camera directly in front of the user's eyeballs in 2016 [Sa16].



Fig. 6: Sutherland's Sword of Damocles (from [Su65])

3 Firefighter support by use of building automation

In case of a fire or similar catastrophe in a public building the building control system can help the firefighters immensely by giving crucial information. This can consist of floor plans, data about currently unused rooms (which therefore do not have to be checked for victims) [TKO15], or indoor navigation (to show the quickest way to the fire or victims). Furthermore, automatic unlocking of doors on the firefighter's way are very helpful [HM16].

One of the main problems however is the possibly degraded functionality of the building's systems due to the fire: Sensors or actuators might have been destroyed, and even the central control system might have been damaged. This demands for different damage detection and/or prevention schemes. Redundantly installed sensors could for example replace each other in case some get destroyed in the fire. If all sensors are unavailable the detection has to be done by other means, possibly by the firefighter (or his equipment) himself.

The use of augmented reality can help the firefighter immensely. The idea is to download a floor plan or plant layout of the building and then visualize the way (see Fig. 7). This can be achieved by displaying information such as

- The location of the origin of the fire
- The location of possible victims to be rescued
- The location of the water connections to a standpipe
- Currently blocked (crumbled or on fire) passages
- The (temperature) condition of rooms behind closed doors
- The way (like an indoor GPS) through possible mazelike building layouts
- The way to nearest safe exits to be used when a victim is being rescued
- Etc.

Indoor GPS is a topic of many research activities, such as [GKP16,MHJ12]. The results are already promising.

Apart from displaying crucial information to the firefighter the device can be in wireless contact to the outside in order to exchange information about

- The current location of the firefighter
- The current field of view of the firefighter (by adding a camera)
- Near doors that might be locked and be remotely unlocked in order to be opened by the firefighter
- Frequent updates of the current fire situation
- Frequent updates about other firefighters in the building
- Etc.



Fig. 7: Google-Glass-based data injection, in this case a floor plan (from [FC14])

The mentioned data can be read, processed, filtered, and refined for the firefighter in order to provide him with only the currently needed data. In hectic situations such as fires the presented and displayed data needs to be concise, helpful, and foresighted.

These technological possibilities are still in early stages. However, in some years or decades the firefighters all over the world will have a radically changed work situation and have to be trained accordingly.

4 Conclusion

The use of augmented reality (AR) devices is getting more and more common, partly because of AR games like Pokemon Go, and it offers many interesting fields of application in the area of buildings.

In this paper possible scenarios in the area of modern work places were highlighted, namely future office work places replacing common work desks and computer installations as well as future rescuers' (taking a firefighter as an example) styles of work.

References

[BCK02] Brennan, A.; Chugh, J.S.; Kline, T.: “Traditional versus Open Office Design: A longitudinal field study”, Environment and Behavior, vol. 34, no. 3, pp. 279-299, 2002, doi 10.1177/0013916502034003001

[Bu17] Business.com: “The "Bleisure" Revolution: How Tech Giants Are Shaping the Workplace of Tomorrow”, https://www.business.com/articles/how-tech-giants-are-shaping-the-workplace-of-tomorrow/ article: Feb.22, 2017

[Dil] Adams, Scott, “Dilbert”: website, http://dilbert.com/, accessed Jun 25, 2017

[FC14] Fast Company: "This Firefighter Built His Own Google Glass App And It’s Saving Lives", 2014, http://www.fastcompany.com/3026559/this-firefighter-built-his-owngoogle-glass-app-and-its-saving-lives, accessed Jun 25, 2017

[Fr15] Friedman, Ron: “Why our cubicles make us miserable”, Psychology Today, website, https://www.psychologytoday.com/blog/glue/201504/why-our-cubicles-make-us-miserable, Apr 13, 2015

[GKP16] Gupta, G.; Kejriwal, N.; Pallav, P.; Hassan, E.; Kumar, S.; Hebbalaguppe, R.: "Indoor Localisation and Navigation on Augmented Reality Devices," 2016 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR-Adjunct), Merida, 2016, pp. 107-112.

[HM16] Haase, J.; Meyer, D.: “New Trends in Building Automation for Offices of the Future“, Proceedings of Jahrestagung der Gesellschaft für Informatik (GI), pp. 1677-1689, 2016

[ITU] ITU-T, Internet of Things Global Standards Initiative, http://www.itu.int/en/ITU-T/gsi/iot/Pages/default.aspx, accessed Jun 25, 2017

[MHJ12] Moon, G.B.; Beom Hur, M.; Jee, G.I.: "An indoor positioning system for a first responder in an emergency environment," 2012 12th International Conference on Control, Automation and Systems, JeJu Island, 2012, pp. 1368-1372.

[OSn] Office Snapshots, website, https://officesnapshots.com/company/google/, accessed Jun 25, 2017

[P1] Cube Farm.jpg by Dan4th Nicolas, Wikimedia Commons, CC-BY-2.0

[P2] Chris Wing, Brightmove, “The Importance of Working Environments”, Recruiting Software Blog, online: https://www.brightmove.com/working-environments/, Feb 20, 2017

[P3a] Customspaces.com, https://customspaces.com/office/ZWcF68yHRv/twitter-office-san-francisco/, accessed Jun 25, 2017

[P3b] Customspaces.com, https://customspaces.com/office/6fIdEmlsdK/nokia-office-sunnyvale/, accessed Jun 25, 2017

[P4] HoloLens_2.jpeg, Microsoft Sweden, Wikimedia Commons, CC-BY-2.0

[P5] CES 2012 - LG video wall (6764174667).jpg by The Conmunity - Pop Culture Geek, Wikimedia Commons, CC-BY-2.0

[Pok] Pokemon Go, website, http://www.pokemongo.com/, accessed Jun 25, 2017

[Sa16] Samsung, Patent, https://www.theverge.com/2016/4/7/11383200/samsung-smart-contact-camera-patent-application, accessed Jun 25, 2017

[Su65] Sutherland, I.E.; “The Ultimate Display”, proceedings of IFIP congress, pp. 506-508, 1965

[TKO15] Tedesco, S.; Khodjaev, J.; O'Flynn, B.: "A novel first responders location tracking system: Architecture and functional requirements," 2015 IEEE 15th Mediterranean Microwave Symposium (MMS), Lecce, 2015, pp. 1-4.

ASE – 15. Workshop Automotive Software Engineering

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 1459

15. Workshop Automotive Software Engineering (ASE)

Alejandro Masrur[1], Wolfram Hardt und Rocco Deutschmann

Beschreibung

Wie seine Vorgänger setzt sich der 15. Workshop Automotive Software Engineering mit der Problematik der Softwareentwicklung im Automobilbereich und folglich mit dafür geeigneten Methoden, Techniken und Werkzeugen auseinander. Die Automobilsoftware spielt heutzutage mehr denn je mit zunehmend vernetzten Fahrzeugen und modernen Fahrerassistenzfunktionen einschließlich des vollautomatisierten Fahrens eine wichtige Rolle. Dabei steigt deren Komplexität nicht nur stetig an, sondern auch strengere Anforderungen an Zuverlässigkeit, Sicherheit (Security und Safety) und Datenschutz (Privacy) müssen insbesondere erfüllt werden.

Darüber hinaus hat die Notwendigkeit nachhaltiger Mobilität dazu geführt, dass einerseits konventionelle Verbrennungsmotoren effizienter werden müssen, um die Abgasemission zu drosseln. Anderseits sind in der letzten Zeit neuartige Antriebsstränge entstanden, die von verschiedeneren Hybrid- bis hin zu vollkommen elektrischen Antrieben reichen. Oft ist man hierzu auf die Software angewiesen, um die Effizienz solcher Antriebsstränge zu verbessern oder technologische Einschränkungen wie etwa die Reichweite eines Elektroautos abzuschwächen.

Der Trend zur Vernetzung aller Dinge (Internet of Things) hat das Fahrzeug unter anderem mit Echtzeit-Verkehrsinformation, Notrufanlagen und Smart-Keys längst erreicht. Zudem bauen immer mehr Funktionen wie das Verfassen/Vorlesen von SMS auf Sprachsteuerung auf, um die Bedienung des Handys während des Fahrens zu ermöglichen. Das Autofahren wird somit durch voranschreitende „digitale Kulturen“ verändert: Menschen werden bald auf Dienste wie WhatsApp, Skype oder sogar Facebook vom Fahrzeug aus zugreifen können, was einen direkten Bezug zum diesjährigen Leitthema der INFORMATIK darstellt.

Organisation

Jun.-Prof. Dr. Alejandro Masrur, Fakultät für Informatik, TU Chemnitz

Prof. Dr. Wolfram Hardt, Fakultät für Informatik, TU Chemnitz

Dr. Rocco Deutschmann, tracetronic GmbH

[1] Technische Universität Chemnitz, Fakultät für Informatik, Straße der Nationen 62, 09111 Chemnitz, a.masrur@informatik.tu-chemnitz.de

doi:10.18420/in2017_145

Programmkomitee

Dr. Christian Allmann, Audi AG

Dr. Karsten Schmidt, Audi AG

Prof. Dr. Marcel Baunach, Technische Universität Graz

Dr. Peter Tröger, Technische Universität Chemnitz

Dr. Stefan Bunzel, Continental AG

Dr. Mirko Conrad, samoconsult GmbH

Norbert Englisch, Technische Universität Chemnitz

Dr. Heiko Dörr, Model Engineering Solutions GmbH

Bernd Frielingsdorf, Ford Werke GmbH

Prof. Dr. Steffen Helke, BTU Cottbus-Senftenberg

Prof. Dr. Bernhard Hohlfeld, Technische Universität Dresden

Prof. Dr. Stefan Jähnichen, Technische Universität Berlin und FZI

Ralf Kalmar, Fraunhofer IESE

Prof. Dr. Stefan Kowalewski, RWTH Aachen

Prof. Dr. Thomas Kropf, Bosch Car Multimedia GmbH

Prof. Dr. Peter Pickel, John Deere ETIC

Prof. Dr. Klaus Pohl, Universität Duisburg-Essen

Prof. Dr. Wolfgang Pree, Universität Salzburg

Peter Priller, AVL List GmbH

Dr. Alexandre Saad, BMW Group

Prof. Dr. Jörn Schneider, Hochschule Trier

Claus Stellwag, Elektrobit Automotive GmbH

Dr. Reinhard Stolle, BMW Car IT GmbH

Dr. Marcel Wille, Volkswagen AG

Prof. Dr. Fabian Wolf, Volkswagen AG

Dr. Dirk Ziegenbein, Robert Bosch GmbH

Peter Manhart, Daimler AG

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 1463

Research Challenges for a Future-Proof E/E Architecture

A Project Statement

Stefan Kugele[1] Vadim Cebotari[1] Mario Gleirscher[1] Morteza Hashemi Farzaneh[1] Christoph Segler[2] Sina Shafaei[1] Hans-Jörg Vögel[2] Fridolin Bauer[2] Alois Knoll[1] Diego Marmsoler[1] Hans-Ulrich Michel[2]

Abstract: During the last decades, the functional power and complexity of automotive E/E architectures grew radically and is going to grow further. We identified two key factors namely *autonomy* and *intelligence*. Both pose research challenges for the next generation E/E architecture. We aim to tackle the design challenges with methods and technologies. We propose in this project statement to use a *service-oriented architecture* on top of an in-vehicle communication network based on *time-sensitive networking*. Moreover, a rigor *risk analysis and mitigation* approach enables synthesis of a safety controller. A *learning architecture* facilitates a shift towards *user centralization* by proactively adapting functions according to user profiles. In addition, further functions might need to be learned at *run-time*.

Keywords: Automotive; safety assurance; service-oriented architectures; communication; time-sensitive network; deep learning; machine learning; artificial intelligence

1 Introduction

During the last decades, a large number of software-based functions has been introduced in form of embedded systems. Many of them are characterized as safety-critical such as those found in the avionic, automotive, railway, and industry automation domains. The number of those functions as well as the complexity of involved hardware topologies will grow. For decades, the autopilot in airplanes has been a well-established software-controlled mechatronic system. Shipping and aerospace are further sectors where autopilot features have been heavily used. Next, we describe the state-of-the-art and framework conditions from various perspectives.

Technology: E/E architectures (electric/electronic) can be best characterized as historically grown, mostly federated but sometimes integrated architectures with often pragmatic, cost-efficient, and ad-hoc solutions. The notion of E/E encompass (i) the electrical network (e. g. high-voltage network, power electronics, generator), (ii) the reliable distributed control

[1] Technical University of Munich, Boltzmannstr. 3, 85748 Garching bei München, {vadim.cebotari, mario.gleirscher, morteza.hashemi, stefan.kugele, diego.marmsoler, sina.shafaei}@tum.de, knoll@in.tum.de
[2] BMW Group, 80788 München, {Fridolin.Bauer, Hans.Michel, Christoph.Segler, Hans-Joerg.Voegel}@bmwgroup.com

doi:10.18420/in2017_146

system architecture (CSA) (e. g. sensors, actuators, electronic control units (ECU), bus systems), and (iii) less safety-critical infotainment systems (e. g. components from the consumer electronic industry). We focus on the last two mentioned. Automotive domain separation (e. g. body, chassis, etc.) is still present. However, new ADAS and infotainment functions will break domain boundaries. Thousands of software-controlled functions are realized by a complex interplay of signals with timing requirements sent via heterogeneous bus systems with complex gateway structures connected to purpose-built ECUs with often closed proprietary designs. Over time, there was a shift from a "one function per ECU" paradigm towards a situation where several functions are deployed onto a single ECU and a function is potentially divided into several sub-functions executed on several ECUs. However, this "ECU-" or "signal-based" development approach has reached its limits of mastering complexity **(GC1)**.
Criticality: In automotive software systems, only a few functions pose strongest safety requirements (i. e. ASIL D, cf. ISO 26262 [IS11]). However, along with highly automated or fully automated driving (SAE levels 4 and 5 of driving automation according to [So14]) this situation changes: we are facing a *paradigm change* in that the responsibility of driving a car switches from the driver to the machine. This coincides with a change of safety goals and safety measures because for level 5 there is no driver to fall back to anymore. Hence, *fail-operational* behavior instead of *fail-silent* is E/E-architectural challenge **(GC2)**.

1.1 Project Challenges from our Industrial Collaboration

In this section, we list the **project challenges (PC)** that we derived together with representatives from the German automotive industry: Architectures for vehicular electrics, electronics, communication, and software are facing several challenges driven by strategic trends. These trends—(i) *automated driving*, (ii) *artificial intelligence*, (iii) *drivetrain electrification*, and (iv) *connected systems and services*— require innovations for reducing system complexity, improving verifiability, and enhancing system integration, consequently driving the introduction of new technologies.

Automation introduces a plethora of additional sensors, computationally complex, data-intensive algorithms, generating in-vehicle network load. Furthermore, automation requires safety engineering to a much greater extent than for previous vehicle generations (GC2.**PC1**). Moreover, intelligent algorithms not only help automated vehicles to drive safely, but *artificial intelligence* (AI) will be making its way into many aspects of a functional vehicle design with the advent of intelligent personal assistants (IPA), multi-modal natural user interaction, situational awareness and augmented reality (GC1.**PC2**). Vehicle's self-awareness requirements are driving architectural design, not to the least regarding enhanced service descriptions and flexible organization of information streams (GC1.**PC3**).

Two software *process*-related challenges have to be tackled: "In-housing" of software development or at least provision of verified and OEM-approved services is essential

(GC2.**PC4)**. This goes along with a shift from an ECU-centric development towards a *service*-centric development of automotive systems **(**GC1.**PC5)**.

Derived from these challenges, we formulate the overall research question: **How does a future-proof automotive E/E architecture look like with emphasis on safety, automation, and intelligence?**

1.2 Contributions

We contribute a *catalog of research questions* to be tackled by a CSA for autonomous, intelligent vehicles. This catalog spans four *focus areas* (see Sect. 3): **control safety**, **communication (TSN)**, **service-oriented architecture (SOA)**, and **artificial intelligence**.

(1) In the **safety area**, we want to find *safety invariants* of automatic vehicle controllers and *reliability design constraints* to be implemented in the CSA, (2) in the **communication area**, we aim at a *synthesized, efficiently scheduled, and reliable* communication network required for the in-vehicle distribution of control functions, (3) in the **SOA area**, we strive for an *abstract model* of core elements of our CSA in terms of *services, their discovery and execution*, and (4) in the **AI area**, we seek to *optimize adaptive vehicle comfort functions* to be aligned with the safety invariants imposed on the CSA.

We sketch our research plan in each focus area: risk analysis and mitigation, modeling, verification, synthesis (i. e., safety controller, TSN network, "hardened" SOA/TSN-based architecture), and integration. In Sect. 3.5, we indicate how results from the focus areas form a coherent picture. Based on this picture, in Sect. 4, we provide a *question catalog* to be tackled by any research on the challenges posed in Sect. 1.1. We think, this catalog contributes to *validation obligations* of any autonomous road vehicle test and demonstration platform.

1.3 Related Work

Back in 2006, Broy [Br06] postulated a couple of research challenges in automotive software engineering. With SOA and TSN, we think we can address the architecture-related challenges and even refine them as depicted in Tab. 1. Traub et al. [TMB17] also favor the use of SOA-concepts for automotive functions. The RACE [So13] project demonstrated a centralized automotive architecture equipped with redundant Ethernet-based communication channels. With regard to full driving automation, Koopman and Wagner [KW16] outline research challenges. Among them, the technical are: (i) *driver out of loop* in level 5, (ii) *complex requirements* e. g. when using machine learning, (iii) *non-deterministic and statistical algorithms*, (iv) *machine learning systems*, and (v) *mission critical operational requirements*. Within the project, we focus on (i), (ii), (iv), and (v).

Outline The remainder of the paper is structured as follows. Sect. 2 introduces the focus areas. Next, in Sect. 3, we explain the challenges and briefly sketch the envisioned solutions for the selected topics and point to the interrelations between the focus areas. Sect. 4 lists our research questions and finally we conclude in Sect. 5.

2 Project Statement

Derived from the challenges in Sect. 1.1, we identified focus areas for a future-proof automotive E/E architecture, depicted in Fig. 1: (1) integrated *safety* concept, (2) infrastructure for real-time, safety-critical communication (e. g. TSN), (3) service-oriented architecture (SOA) for safety and non-safety-critical service provision, and (4) artificial intelligence (AI) providing e. g. machine learning capabilities.

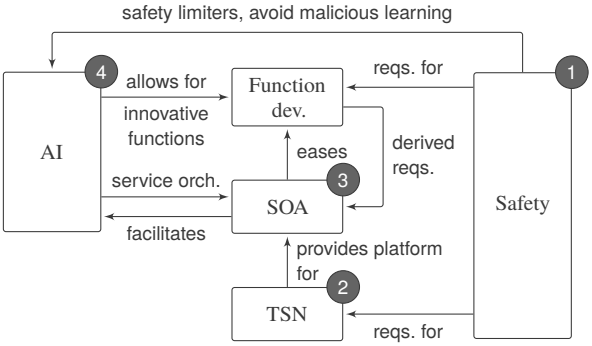


Fig. 1: Focus areas and interrelations.

We are convinced that *function development* effort can be radically reduced by *service-oriented architecture*. It facilitates the use of *machine learning* and other AI approaches, which support service orchestration of innovative functions. Time-sensitive networking provides a communication infrastructure for safety- and real-time-critical service provision. An integrated *safety* concept allows to monitor "learned" behavior, and poses requirements for functions as well as the execution platform.

By taking a two-fold approach we look at (i) the functional breakdown of an automotive system and deriving requirements for our focus areas on the one hand, and at (ii) the common design questions raised across the interfaces between the areas when integrating them to form an automotive system architecture, on the other hand. The focus areas have been chosen to contribute to the challenges in Sect. 1.1: computationally demanding applications (e. g. the learning, proactive intelligent personal assistant); engineering excellence to deliver functionally safe autonomous systems while organizing them for a maximum level of modularity, re-usability, and extendibility; and providing a scalable, yet well-performing and reliable data communication infrastructure. While there are advanced aspects of automotive E/E architectures, these focus areas contribute most to data-driven approaches that rely on the efficient definition, organization, and handling of data streams in the car. Hence, we will look at these focus areas and study mutual dependencies and requirements.

3 Approach

In the following, we briefly discuss our focus areas which we think are of particular importance to leverage *intelligent* and *automated* vehicles.

3.1 Focus Area 1: Vehicle Control System Safety

In this focus area, we approach control safety or *hazard reduction* by two complementary views: (1) We deal with *safety by designing safe system dynamics* (aka "safety of the *intended or nominal function*"): The state-of-the-art, customer expectations, and competition mandates the implementation of function enhancements (e. g. collision avoidance, safety braking) responsible for mitigating hazardous situations typical of an application. (2) We aim for *safety by improving resilience, reliability, and security*: When performing, system functions can exhibit various anomalies (e. g. due to faults, intrusions, attacks, misuse) violating the *intended function*. The state-of-the-art and product liability practices mandate the taking care of avoiding, detecting, and containing such anomalies by improving various properties of a system design. The goals underlying these two views can be expressed in terms of *safety invariants* imposed on the vehicle control loop, for (1) and (2), and *reliability design constraints* to be respected by the CSA, for (2).

Our **objective** from the perspective of (1) and (2) is to *enable highly automated and autonomous vehicles to reach acceptably safe states with respect to the hazards identified in the most relevant operational situations*. This objective includes the design of *fail-operational architectures*, i. e., safe driving behavior in presence of covered faults.

Approach and First Results To address vehicle safety as outlined in (1) and (2), we envisage the following three tasks: *(a) Assess the architecture:* We perform an assessment of the *as-is and to-be* CSAs for highly automated and autonomous driving. *(b) Develop a safety kit:* We collect best practices from a systematic literature review and prepare recommendations for further or improved use of selected practices for the assurance of the envisaged CSAs. In [GK16] we discuss an overview of best practices known in the design of high-assurance embedded control software and systems. *(c) Improve the assurance procedures for the envisaged CSAs:* We develop a method for hazard analysis and risk assessment in the co-design of *vehicle control functions* and of safety measures such as *monitor-actuators*. In [GK17, GK] we study a modeling framework as well as first steps towards such a method.

3.2 Focus Area 2: Communication

An increasing number of functions in automotive E/E architectures introduces further requirements for in-vehicle communication systems such as the capability to support

mixed-criticality and hard real-time requirements. Such a communication system has to offer higher bandwidth (required for e. g. demanding video data transmission $> 1GB/s$) and timing guarantees to fulfill safety-related requirements (e. g. deterministic minimum latency and jitter, reliability, and fail-operational).

Our **objective** is to reduce heterogeneity and configuration complexity of in-vehicle communication sub-systems while supporting mixed-criticality and hard real-time. This yields advantages for the function developer, who is spared the task of network management and can focus more on function development itself.

Approach and First Results Time-Sensitive Networking (TSN) is a new set of standards in the development by the Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) which aim to support hard real-time communication based on Ethernet technology. We investigate the capabilities of TSN standards in the automotive domain and develop methods and concepts simplifying its integration, configuration, and verification in a future-proof E/E architecture. To achieve the mentioned objectives and following our previous work in [FSK16] and [FK16], our approach contains the following steps: (i) Investigation of TSN features useful for the automotive domain, (ii) development of a network modeling approach composed of Object-Oriented and Logic Programming paradigms, (iii) development of network facts and inference rules for network configuration and verification, (iv) Time-Aware Shaper schedule synthesis based on e. g. Satisfiability Modulo Theories (SMT), (v) formal timing verification for safety-critical systems, (vi) validation of different network topologies because of different equipped options in the vehicle, (vii) development of a fail-operational communication verifier (expert system) based on IEEE 802.1CB, and (viii) development of a prototypical TSN demonstrator to evaluate the developed concepts.

3.3 Focus Area 3: Service-Oriented Architectures

We think that a shift from traditional ECU-based development towards a service-oriented approach helps to reduce complexity of software development. The use of a service-oriented architecture helps to obtain a clear understanding of the complex functional interplay, which is necessary when aiming at a high or even full level of driving automation. It facilitates reuse of functionality e. g. by defining them as a *Safety Element out of Context* (SEooC). Therefore, services are described as hardware- and technology-agnostic as possible. Moreover, SOA is a means for "learning" by orchestrating services at run-time to provide intelligent functions. A *unification* in how to access any and all data aims at establishing an intuitive way to think about interdependence. A *service registry* facilitates to access (respecting access control mechanisms) data using services.

Our **objective** is to provide a framework for (i) formal service specification, (ii) design, and (iii) implementation of automotive approved service-oriented architectures comprising both in-vehicle as well as back-end components.

Approach and First Results To achieve this objective we envisage the following steps:
Identification and Classification of Services: We are going to work out a *service classification scheme*. One possible classification can be according to their level of hardware independence (in [Ku17], we assigned services to layers). Hardware-dependent services (e. g. sensor and actuator interaction) are fused to and coordinated by higher-layer services.
Service Interface Specification and Service Level Agreements (SLA): There are different standards and tools that can be used to address this topic. Most tools offer a very good support for the specification of syntactic interface. On the other hand, these tools only insufficiently support behavior specification. Due to the challenges in autonomous driving and machine learning, we consider a behavioral interface description as necessary. Moreover, to learn *new* functions by dynamic orchestration of existing services, a detailed *SLA* (also referred to as service contract) is necessary.
Service Bus and its Responsibilities: To design a service-oriented architecture with built-in safety support and in-car intelligence, we have to determine the responsibilities of the service bus as the core of the technical infrastructure for a service-oriented architecture. The service bus provides middleware features on top of TSN (cf. Sect. 3.2) meeting all requirements from safety and AI perspective.

3.4 Focus Area 4: Artificial Intelligence

The next generation of Intelligent Personal Assistant systems are capable of covering a variety of tasks from being a car advisor on different applications, and well-being coach of the occupants, to being a chauffeur for the passengers in absence of the driver for autonomous driving scenarios. The increasing amount of data in car beside the difficulties in hyperparameter tuning for training (learning rate, loss function, number of training iterations, gradient update smoothing, optimizer selection, etc.) and therefore, growing complexity in defining a good reward function in most of the cases, shows the need for scalable machine learning approaches.

Our **objective** is to realize the idea of an intelligent and self-developing car, first of all the context needs to be acquired from different data source in the car and outside the car. The next step is to select the suitable machine learning methods according to the context and the expected outcome, considering the related safety aspects as well, with an acceptable computational load. A challenging part in automotive E/E architectures is to find the suitable place for the computation phase of learning in AI-based functions (e. g. local vs. cloud).

Approach We target two categories of *Context Acquisition and Modeling* besides the *Context Reasoning and Prediction*. In other domains, different architectural concepts for context acquisition have already been developed (see [Pe14]). To acquire context data in an automotive E/E architecture, several issues have to be addressed. One of these is the highly-divided communication infrastructure. There is no central point in the network where all raw data can be collected and processed. Furthermore, the transferred messages are highly optimized leading to uninterpretable data without further information. This issue can

be addressed with a middleware, a central context server, context servers divided in domains (like comfort, motion control, etc.), or even other architectural concepts. Afterwards, the context has to be derived to represent a model of the current situation and linked to create higher-value context information.
After collecting and providing context data the next step is to reason about and learn from the collected data. Techniques of making conclusions from context data consider two factors of performance and human readability. One of the problems is to choose the right data to reason about in combination with learning algorithms. Context reasoning is followed by context prediction and it will bring up architectural challenges which we are going to investigate and address in this project. An evaluation of prediction architectures and algorithms must be performed. After clarifying the limitations and problems, modifications to improve the as-is architecture or proposing a new one may be required. *Neural networks* (NN) along with deep learning methods have shown noticeably better performance in comparison with their ancestors. Use cases such as driver behavior recognition based on deep convolutional NNs [Ya16] and real-time vehicle detection in autonomous driving [Hu15], lend credence to promising future of deep learning in autonomous driving but it increases the complexity.

3.5 Relationships between the Focus Areas

Impacts from Focus Area "Safety" For design practices included in the safety kit, we have to rely on assured properties of the employed in-vehicle communication network (cf. Sect. 3.2). There is a bidirectional relation between TSN and safety. TSN offers standards as services to support safety-related requirements of functions such as timing and reliability. Following the proposed model-driven approach, TSN users have to annotate such critical requirements at design time that fulfill all safety requirements (in particular but not limited to timing) at run-time. For example, TSN guarantees that a synthesized time-triggered schedule at design time is safe against network traffic changes caused by less critical data flow at run-time. Similarly, the availability of fail-operational disjoint paths (defined as safety requirement at design time) and required network bandwidth (for dynamic traffic changes) are guaranteed by TSN. On the other hand, TSN itself has to be safe. Network faults have to be classified and to be considered at network design time to compensate network failures. We aim to use SOA (cf. Sect. 3.3) as a model (i) to represent and analyze functional interactions within a distributed vehicle architecture and (ii) to understand safety-related interaction of vehicle control functions. Finally, we aim to assure safety properties in presence of learning algorithms (cf. Sect. 3.4) interacting with vehicle control functions.

Impacts from Focus Area "Communication" Non-functional requirements of functions (e. g. safety and timing constraints) are defined using a service-oriented paradigm. SOA is the interface between TSN QoS services and higher level functions. We focus on a publisher/subscriber communication paradigm.

In the context of safety, it has to be guaranteed that *learned* functions do not disturb other critical functions at run-time (e. g. because of extra required bandwidth). For dynamically

or static *learned* functions the support of mixed-criticality is significant. TSN guarantees that properties (e. g. bandwidth) of such dynamic functions at run-time do not disturb the safety-critical communication (usually scheduled at design time). On the same physical communication medium (Ethernet), the critical traffic (e. g. time-triggered) is safely separated and the remaining bandwidth is reserved for other functions and their requirements for dynamic network reconfiguration.

Impacts from Focus Area "SOA" The service-oriented architecture has to support *guarantee fulfillment* for safety requirements (cf. Sect. 3.1). Thus, we distinguish between static and dynamic binding of services. Of course, dynamic binding is generally a desired property of SOA. However, to meet safety requirements, we have to support static binding of safety-critical services. Furthermore, the SOA concept of a service bus has to be mapped to TSN by providing a necessary middleware. Finally, the developed SOA concept has to provide means for efficient and controlled data collection for intelligence and learning.

Impacts from Focus Area "Intelligence" The services which will be used by an intelligent system like IPA have to be determined in advance. A clear definition for "malicious" and "wrong" learning must be given and according to that, the safety approaches must be considered by implementing the predictive or preventive mechanisms. Service-oriented architecture defines the services for data access. One of the features considered for IPA is the ability to learn functions, so the research fields involved in this process may identify important factors and form mechanisms to assure the safety of a changed service orchestration. Changed service orchestrations may define further requirements for the communication network to be addressed by a suitable network architecture (e. g. TSN). Moreover, in presence of probabilistic hazards caused by learning components, mechanisms for identifying and mitigating them must be considered.

4 Research Questions and Evaluation Plan

Based on the focus areas and their relationships, we derived *research questions* (cf. Tab. 1) which have to be answered to develop a *future-proof automotive E/E architecture*. Ideas how to evaluate the approach follow.

In the focus area "safety", we will provide a comparison of pattern variants relevant for vehicle CSAs (RQ1.1-1.2), an approach to formulate suitable safety invariants and recommend means required to perform invariant checks (RQ1.3), and deliver a list of arguments how our risk assessment model improves the vehicle assurance case (RQ1.4-1.5).
In the focus area "communication", we will build an experimental setup composed of two to three TSN switches which support Time-Aware Shaper and a set of adequate embedded boards as end-stations (supporting GPIO, SPI, and UART interfaces) (RQ2.1-2.5).
In the focus area "SOA", we will build up an experimental demonstrator (execution platform as well as tooling for service design) (RQ3.5) by implementing selected, safety-critical and intelligent functions as services (RQ3.2-3.4). For a reasonable selection, we first come up

Tab. 1: Research questions assigned to the challenges summarized in Sect. 1.1

RQs & Challenges		Safety
RQ1.1	PC1	Which variants of redundancy patterns will mostly improve our envisaged CSA?
RQ1.2	PC1	Which variants of monitor-actuator patterns are feasible and which perform best in achieving safety?
RQ1.3	PC2, PC4	When do we have to limit or shutdown AI-based ADAS functions, i. e., which ways are feasible to constrain learning for maintaining safety invariants?
RQ1.4	PC1	Does the employed risk assessment model lead to a more complete or more efficient analysis and assurance of CSA safety?
RQ1.5	PC1	How much does the safety of a CSA for an L4/5-vehicle improve over the safety of state-of-the-art CSAs of ADAS-enabled vehicles?
TSN Communication		
RQ2.1	PC1, PC3	Which advantages do TSN features have for the automotive E/E architectures, i.e. CSAs?
RQ2.2	PC2, PC3	Which steps are required to automate TSN configuration?
RQ2.3	PC1	How can different network topologies affect the network performance and configuration overhead?
RQ2.4	PC1, PC4	How can network timing and fail-operational requirements be formally verified?
RQ2.5	PC1, PC2, PC3	How can network failures be classified and handled?
Service-Oriented Architecture		
RQ3.1	PC5	Which criteria can be used for an efficient and structured classification of services in an automotive SOA?
RQ3.2	PC3, PC4	How can safety requirements be satisfied when using dynamic service binding?
RQ3.3	PC2, PC3, PC5	How does a SLA/contract look like in order to facilitate learning?
RQ3.4	PC5, PC4	How can the (i) functional behavior of a service and (ii) its semantics (cf. Semantic Web) be formulated?
RQ3.5	PC3, PC5	How does an automotive compliant implementation of a service bus look like?
Intelligence		
RQ4.1	PC2, PC5, PC3	How does a future E/E architecture have to look like with the integration of AI-based functions?
RQ4.2	PC3	How does the vehicle architecture provide data for “optimization” and “learning” in AI-based functions?
RQ4.3	PC2, PC3	How to use the new dynamics in a future architecture (e. g. SOA, TSN) for AI-based functions?
RQ4.4	PC1, PC4	How to identify and avoid correlations between AI-based functions and safety-critical functions? (e. g. satisfying safety requirements in AI-based functions?)
RQ4.5	PC1, PC4	Within the context of “malicious learning”, how is the relation of AI-based functions and safety? (e. g. identify, predict, and avoid “malicious learning”)

with a classification scheme (RQ3.1).
In the focus area “intelligence”, we will concentrate on the occupants’ comfort by providing interesting scenarios and demonstrating them on ECUs or lab equipment (RQ4.1). Next, required services (cf. SOA) for the possible safety-critical functions, and the role of the new dynamics with these functions will be defined (RQ4.3-4.4). Approaches for predicting and avoiding malicious learning on the demonstrated functions will be examined (RQ4.5) and after identifying their performance besides their limitations, we will extend the comfort scenarios to cover the related important roles of an IPA.

Use Case We want to show a use case describing an architecture to ease the development and verification of added services. In this architecture, the vehicle control system will be equipped with fail-operational strategies containing fault classes with high risk priority. We want to design proactive behavior into the intelligent components to improve the passenger experience. The operation of intelligent component will be accompanied with high-bandwidth communication requirements, which we want to address by using a TSN infrastructure. Concrete we plan to combine a simulated drive from A to B to study intelligent adaptions and fail-operational behavior in injected, critical situations. Intelligent functions are modeled using services and a coupling between the simulator and a TSN-equipped test bed allows to study TSN capabilities.

5 Conclusion

In this paper, we outlined challenges and derived research questions for a future-proof automotive E/E architecture which is capable of dealing with challenges: (i) vehicles safely operating at levels 4 and 5 of driving automation and (ii) intelligent vehicles that proactively react on and interact with passengers. Moreover, as part of our research plan we sketched engineering and evaluation steps for each focus area. We plan to conduct the evaluation of the concepts developed for the research questions in Sect. 4 based on the described use case.

References

[Br06] Broy, Manfred: Challenges in automotive software engineering. In (Osterweil, Leon J.; Rombach, H. Dieter; Soffa, Mary Lou, eds): 28th International Conference on Software Engineering (ICSE 2006), Shanghai, China, May 20-28, 2006. ACM, pp. 33–42, 2006.

[FK16] Farzaneh, M. H.; Knoll, A.: An ontology-based Plug-and-Play approach for in-vehicle Time-Sensitive Networking (TSN). In: 2016 IEEE 7th Annual Information Technology, Electronics and Mobile Communication Conference (IEMCON). pp. 1–8, Oct 2016.

[FSK16] Farzaneh, M. H.; Shafaei, S.; Knoll, A.: Formally verifiable modeling of in-vehicle time-sensitive networks (TSN) based on logic programming. In: 2016 IEEE Vehicular Networking Conference (VNC). pp. 1–4, Dec 2016.

[GK] Gleirscher, Mario; Kugele, Stefan: From Hazard Analysis to Hazard Mitigation Planning: The Automated Driving Case. In: NASA Formal Methods (NFM) – 9th Int. Symp. volume 10227 of LNCS. Springer, Berlin/New York.

[GK16] Gleirscher, Mario; Kugele, Stefan: A Study of Safety Patterns: First Results. Technical Report TUM-I1640, Technische Universität München, July 2016.

[GK17] Gleirscher, Mario; Kugele, Stefan: Defining Risk States in Autonomous Road Vehicles. In: High Assurance Systems Engineering (HASE), 18th Int. Symp. January 2017.

[Hu15] Huval, Brody; Wang, Tao; Tandon, Sameep; Kiske, Jeff; Song, Will; Pazhayampallil, Joel; Andriluka, Mykhaylo; Rajpurkar, Pranav; Migimatsu, Toki; Cheng-Yue, Royce et al.: An empirical evaluation of deep learning on highway driving. arXiv:1504.01716, 2015.

[IS11] ISO: , Road vehicles–Functional safety (ISO 26262), 2011.

[Ku17] Kugele, Stefan; Obergfell, Philipp; Broy, Manfred; Creighton, Oliver; Traub, Matthias; Hopfensitz, Wolfgang: On Service-Orientation for Automotive Software. In: IEEE International Conference on Software Architecture, ICSA 2017, Gothenburg, Sweden, April 3-7, 2017. IEEE Computer Society, pp. 193–202, April 2017.

[KW16] Koopman, Phil; Wagner, Michael: Challenges in Autonomous Vehicle Testing and Validation. In: SAE World Congress. 2016.

[Pe14] Perera, Charith; Zaslavsky, Arkady; Christen, Peter; Georgakopoulos, Dimitrios: Context Aware Computing for The Internet of Things: A Survey. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 16(1):414–454, 2014.

[So13] Sommer, S.; Camek, A.; Becker, K.; Buckl, C.; Zirkler, A.; Fiege, L.; Armbruster, M.; Spiegelberg, G.; Knoll, A.: RACE: A Centralized Platform Computer Based Architecture for Automotive Applications. In: Electric Vehicle Conference (IEVC), 2013 IEEE International. pp. 1–6, Oct 2013.

[So14] Society of Automotive Engineers: Taxonomy and Definitions for Terms Related to On-road Motor Vehicle Automated Driving Systems, SAE Std. J3016. 2014.

[TMB17] Traub, Matthias; Maier, Alexander; Barbehön, Kai L.: Future Automotive Architecture and the Impact of IT Trends. IEEE Software, 34(3):27–32, 2017.

[Ya16] Yan, S.; Teng, Y.; Smith, J. S.; Zhang, B.: Driver behavior recognition based on deep convolutional neural networks. In: 2016 12th International Conference on Natural Computation, Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (ICNC-FSKD). pp. 636–641, Aug 2016.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 1475

Quo vadis, AUTOSAR?

Christine Jakobs[1], Peter Tröger[1]

Abstract: AUTOSAR is the de-facto standard for developing automotive software. It is utilized by leading car manufacturers and suppliers as a common platform for software portability and interoperability. Future car applications such as autonomous driving and Internet service usage change the static deployment model on single ECUs towards the classic idea of a dynamic distributed system. This paper identifies properties of AUTOSAR which do not match to such upcoming scenarios. We discuss how established patterns from distributed software development may contribute to an improved version of AUTOSAR that is more suited for current and future applications.

Keywords: middleware; AUTOSAR; component model; standardization; container; software architecture

1 Introduction

Embedded software plays an important role for the functionality of modern cars. It allows the realization of comfort functionalities such as driving assistance or navigation, but is also important for critical parts such as injection control or braking support. In recent years, the automotive industry developed a constantly rising demand for software-backed features, often because these functionalities are the main distinguishing factor in competition with other vendors.

In 2003, the automotive industry established the *AUTomotive Open System ARchitecture (AUTOSAR)* as unified development platform and middleware for embedded connected software. It continues the tradition of OSEK/VDX, a standardization effort for vehicle software that originated in the 90s in Germany and France.

AUTOSAR supports the development of embedded distributed software that is portable across heterogeneous automotive hardware platforms and can be verified in terms of reliability and safety. Such middleware goals are not new, they are on the agenda since the first occurrence of the term in the 1960s. Several industrial domains successfully managed to invent solutions that deal with standardized software entities and their execution environment. This lead to well-known solutions such as CORBA which is widely used in the aviation industry due to its combination of rigorous standardization, backward compatibility and support for different programming languages.

[1] Technische Universität Chemnitz, Fakultät für Informatik, Professur Betriebssysteme, Straße der Nationen 62, 09111 Chemnitz, Deutschland [christine.jakobs|peter.troeger]@informatik.tu-chemnitz.de

doi:10.18420/in2017_147

Given the fact that middleware has a long history in software engineering, it seems surprising that the automotive industry follows a comparatively young and very isolated approach. Other middleware stacks beside AUTOSAR offer a rich set of development tools, such as Eclipse, Visual Studio, and NetBeans, and support modern paradigms such as dependency injection, component repositories, or service orientation. The automotive world, in contrast, maintains an isolated universe of middleware tools, libraries and programming rules. Studies have shown that new upcoming challenges such as network security, over-the-air software update and payed vehicle feature activation get more and more important [Mc16] but with AUTOSAR, they must be tackled without re-using existing solutions. This raises the question if such a self-contained ecosystem is really the best-possible approach in terms of flexibility, cost effectiveness, security, reliability and timeliness. In the following sections, we discuss this issue with respect to the AUTOSAR 4.2 specification[2], focusing on two main questions:

- Are there unique capabilities in AUTOSAR that are hard to realize with other middleware frameworks?
- Is AUTOSAR prepared for the upcoming challenges of autonomous connected cars?

We begin with the scope and implementation requirements of the AUTOSAR standard in Section 2. In Section 3, we discuss the system model assumptions given in the AUTOSAR specification. Section 4 targets the software layers defined by AUTOSAR and Section 5 the component model. In each section, we derive some recommendation how to proceed with AUTOSAR as a platform for vehicle software development.

2 Scope and Requirements in AUTOSAR

The creation of a specification such as AUTOSAR demands significant collaborative efforts in an environment where competition is the default. A group of industry vendors and research institutions tries to find a lowest common denominator for some technology, protocol or API. This can only work if they have a clearly defined scope of their work, so that the resulting common denominators are agreeable by all participants.

One example from another domain is the *CORBA Component Model (CCM)* standard by the *Object Management Group (OMG)*. It starts the specification text by describing the scope of the document [Gr12b]. Goal settings such as "a programming model for constructing component implementations" are referred to by later parts of the specification.

AUTOSAR specifies a "standardized and open software architecture for automotive electronic control units (ECUs)"[AU14] as its primary goal. When going further through the basic information the idea is also to specify and "describe application interfaces and a methodology". This includes the following aspects [AUe, AUg, AUa]:

[2] The specification can be obtained from `http://www.autosar.org`

Architecture: AUTOSAR defines a layered architecture, composed of the *application layer* build from software components, the *run-time environment (RTE)* as the communication middleware and the *basic software* layer with a standardized API.

Interfaces: AUTOSAR defines an interface description syntax and a set of standard functions that must be implemented by a compliant execution environment.

Methodology: AUTOSAR specifies a common workflow for the software development process.

Orthogonal to these pillars, there are three main objectives frequently mentioned in the specification [AUe]: *non-functional guarantees*, *portability* and *interoperability*.

The support for non-functional guarantees is crucial in safety-critical systems and therefore mandatory in technologies such as AUTOSAR.

Portability is the capability of transferring software to new hardware. In contrast to many frameworks outside the automotive field, AUTOSAR does not seem to aim for binary portability that works without recompilation. This is obviously fine for the closed world of a traditional vehicle, where software only changes infrequently after the delivery to the customer.

Interoperability exists as third general requirement in AUTOSAR, but does not seem to be the major driving factor in the standardization. It is achieved by cross-checking all potential communication of AUTOSAR components at configuration / build time. This again implies a closed system that has no dynamic external communication. All interaction partners must be completely aware of each other. AUTOSAR therefore chooses best-possible predictability over best-possible interoperability, while most communication middleware stacks decide for the exact opposite. This is reasonable for safety critical systems with no dynamics at run-time but may be a larger problem in future open systems.

With respect to these objectives, AUTOSAR specifies rules for a high-level development process, low-level abstractions, portability mechanisms, communication patterns, non-functional properties and the programming language. It also includes the definition of a functional architecture with blueprints for software layers and hardware abstractions, implementation details such as XML formats, C header files, variable names, C90 restrictions, development process details and tool functionalities. The result is a complex mixture of high and low level aspects, which makes the specification look more like an implementation documentation than an adoptable standard. This way of describing things stands in contrast to many other successful middleware specifications. Standardization documents for CORBA or ECMA.NET focus on one layer/aspect at a time and references to other standards for everything that is not covered. This creates a collection of small and focused specifications, where each of them solves one problem at a time. One special example is the JavaEE specification set, which mainly combines other Java standards into an overall and complete definition of component model, communication middleware and standardized execution environment.

Standards in other domains for protocols, data formats or software interfaces typically specify the minimum, optimum and maximum amount of functionality that must be implemented in order be compliant to them. One example is CORBA, where “The minimum required for a CORBA-compliant system is adherence to the specifications in this standard and one mapping. Each additional language mapping is a separate, optional compliance point” [Gr12a]. The definition of such compliance commonly relies on the RFC 2119 specification [Br97], which defines keywords such as SHALL and MAY to indicate a requirement level.

Even though the AUTOSAR standard also refers to RFC2119 [AUe], there is no real prioritization of requirements. This leads to conflicting statements in different parts, for example regarding OSEK legacy support vs. standardized API usage. Given the sometimes contrary AUTOSAR goals on different levels, it remains often unclear which properties, services, functionalities and non-functional attributes are mandatory for AUTOSAR compliance. The descriptions are scattered over multiple documents [AUf, AUd, AUe] and are described with a widely differing level of granularity. Some of them even refer to the standardization process itself and not to the intended results of AUTOSAR implementations e.g. “AUTOSAR shall support the work-share in large development projects via well-defined exchange formats” [AUd].

The lack of sharp implementation priorities allows the (extreme) conclusion that either all requirements from all documents must be fulfilled to be AUTOSAR-compliant, or that nothing is mandatory. The first case would be impossible to implement in reality, while the latter would mean that every software ever written is AUTOSAR compliant. This example shows that the AUTOSAR specifications leave unnecessary large gaps for subjective interpretation, just by sub-optimal structuring and formulation, a problem we define as *model uncertainty* [Sm]. Personal feedback from automotive developers underlines that this problem exists in reality and leads to significant resources being invested for figuring out if and how some software parts are AUTOSAR compliant or not.

A good way to overcome these problems would be to split the specification in different parts. This would lead to better decoupling and easier adaption of the API. An extension of the standard by introducing profiles to create a clear structure of the requirements would allow to focus on important parts per single document. Also the consequent usage of the referred RFC2119 would lead to a clear prioritization of that parts which have to be implemented for compliance.

3 System Model

In distributed systems, one fundamental assumption is the independence of nodes. Software can be independently installed, updated and may also fail independently. This eases the realization of fault tolerance and extensibility, but makes the overall system less predictable in its behavior.

AUTOSAR is intended for monolithic software systems that span over multiple ECUs connected by a real-time communication bus. Software layers exist only in source code and dissolve into a single binary per ECU node after compilation (see Figure 1). This leads to the fact that configuration has to take place before runtime [AUb], which is one of the few irrefutable AUTOSAR development principles shining through in all documents.

The **static monolith** concept of AUTOSAR is a relevant pain point for the software development process itself. Although AUTOSAR has all the necessary building blocks for decoupled and decentralized development, such as a component model and abstract interface descriptions, it always ends up in demanding whole system compilation, configuration and optimization for testing. Decoupled ECU operation, cross-ECU fail-over mechanisms, dynamic load balancing, dynamic addition of components, or partial updates for some of the ECUs violate the whole system validation assumption and therefore become complicated to be realized in practice.

The obvious motivation for the static monolith approach is the wish for predictable behavior in terms of non-functional properties, such as timeliness and reliability. When each and every component interaction is statically configured and described in machine readable formats, it becomes possible to analyze and plan timing, safety, security and other properties for the system as a whole. Real-time communication and resource usage can be heavily optimized at configuration time, so that no unnecessary hardware adds to the vehicle weight. This aspect is widely unsupported by mainstream middleware, despite the well-known TTA or RT-CORBA [Ob05, KB03], so the choice being made in AUTOSAR is reasonable from a historic perspective. But it becomes increasingly invalid for future cars. These systems are expected to support software update after delivery [Ta16], e.g. for activating features as pay-per-use or for getting newer functionality as over-the-air update.

Newer developments such as SOME/IP [AUj] show that the stack must be heavily tailored for such dynamics, which exist in other frameworks for decades. Adding naming services, encrypted communication, service discovery and late binding to classical AUTOSAR immediately violates the *everything is static at run-time* mentality of the core specification. Some companies such as Tesla therefore try to separate the static AUTOSAR system with safety-critical functionality from the dynamic parts, but the bridging points for exchange of data and commands still impose a risk. A popular example about what can go wrong is the Jeep hack from 2015, where security researchers where able to remotely control brakes and acceleration of a car [Sc15].

Although the vehicle industry has to achieve a predictable behavior, the current AUTOSAR software development process seems not to be future proof anymore. With the monolith approach, it is not possible to evolve towards dynamic software deployment which e.g. allows software updates during runtime. The attempt of adjusting the old mechanisms and models may work for the moment, but is clearly not future proof.

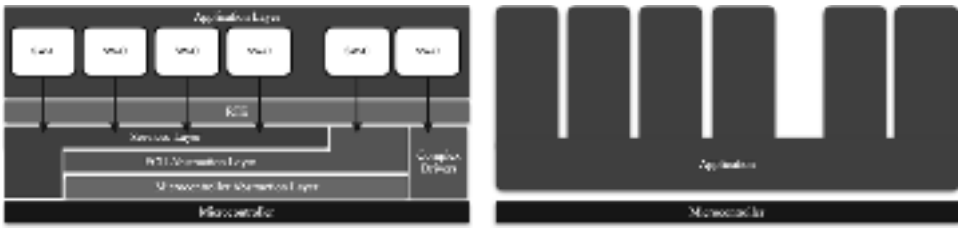


Fig. 1: AUTOSAR software layers before and after compilation.

4 Layers in AUTOSAR

Layering is a traditional concept for dealing with complexity in large software systems. The independent evolution of each layer is enabled by clear API barriers and the separation of responsibilities.

AUTOSAR defines architectural layers [AUc] that look similar to the ones known from classical operating system design (see Figure 1):

Microcontroller Abstraction Layer: Similar to the hardware abstraction layer (HAL) in an operating system (OS) kernel.
ECU Abstraction Layer: Similar to the I/O management parts in an OS kernel.
Services Layer: High-level functionality, which is comparable to an OS syscall interface.
Runtime Environment (RTE) layer: Portability layer and coordination of component communication, similar to standard middleware products.

AUTOSAR applications can use the Services Layer as their operational foundation for local functionality, but may also access the ECU abstraction layer directly [AUc]. Another option is the utilization of *complex drivers*, which basically allows the application to circumvent all abstractions and talk to the hardware directly.

Personal interviews with automotive developers showed us that most of them are satisfied with the layering concepts regarding the interfaces, software components and services. This indicates that the idea of the specification is very good. Feedback from industry also exposed that the full hardware abstraction of AUTOSAR (Memory, I/O system services, communication) is often not used, so AUTOSAR is reduced to a pure communication middleware.

When taking the AUTOSAR specification literally, complex drivers are an absolute exception for software which is so far not integrated in AUTOSAR. Specific requirements in the standard (RS_BRF_02280, RS_BRF_02288) underline this understanding of an exceptional situation[AUf]. Our industry feedback revealed that the opposite takes place: Complex drivers are a standard solution for local hardware access.

One reason could be that developers need to solve problems quickly and simply do not find

the *right* function for their problem in the high-level API. Their problem granularity level is so different, that the AUTOSAR basic services do not pay off for them. This problem is not specific to AUTOSAR and can be denoted as the *API Dilemma*.

In the specific case of AUTOSAR, this may be simply related to age: API definitions such as POSIX needed decades to mature, while the AUTOSAR standardization body is constantly evolving, expanding and changing different parts of the middleware. The RTE change history [AUi] shows that very clearly.

A contemporary separation of the standard into long term support and innovative versions would show clearly for which parts backward compatibility is essential at any time, like in POSIX. This would help the developer to replace ad-hoc manual solutions with long term code that relies on stable interfaces. The profiling ideas would further reduce the learning curve for developers.

5 Interfaces and Components

An *interface* or *application programming interface (API)* is a description of a set of possible operations that a caller may request [TB01]. It acts as written contract that is fulfilled by the component implementing the interface. Interfaces allow interaction of independently developed software and encourage separation of concerns. They can be syntactically described in terms of a programming language (e.g. Java, C#) or in terms of a dedicated language (e.g. IDL, WSDL, protocol automata).

When working with interfaces there may be vertical as well as horizontal interface dependencies, since components either rely on remote components (horizontal) or on interfaces from layers below (vertical). In an ideal world of AUTOSAR applications, an OEM (= car manufacturer) would define the interfaces for which the supplier (such as Bosch) delivers the implementation.

AUTOSAR defines specialized entities such as AUTOSAR Application Interface, AUTOSAR interface, standardized AUTOSAR interface, software component interface, interface, and private interface [AUb]. The difference lies in the use case and the developer of the interface: There are interfaces standardized by AUTOSAR and interfaces used for horizontal or vertical decoupling.

One specific example is the software component interface, which is defined as an XML document [AUh]. It relies on classical port semantics and therefore supports different communication paradigms. As already discussed before, the standard leaves open which of these paradigms are mandatory to implement [MB11]. Furthermore, the mapping to C language is not obvious. The XML type system was never invented for function signatures, which is a fact that was already known in the SOAP/WSDL world when modern AUTOSAR versions were developed [Vi08]. The XML definition also makes it hard to formulate interface descriptions as human developer, which is one of the reasons why classical CORBA IDL or

its modern variations [Go17] look more like a programming than a description language. Some papers, as a solution, discuss how to generate software component descriptions out of annotated C header files [Mu09] but we think it would be easier to adopt modern interface description strategies in the automotive world.

Interfaces are implemented by components, which are binary units of independent production, acquisition, and deployment that interact to form a functioning system [Sz02]. They are intended for multiple use, can be independently developed and deployed and are composable with other components. A component using another components functionality is commonly described as *client*.

AUTOSAR has the central concept of a *software component*. They interact with other components in the vehicle over communication buses and through well-specified interfaces. The glossary for AUTOSAR [AUb] again defines several variations of the general component concept: application, software component (SW-C), application software component, atomic software component, basic software module and functional unit. The difference lies in the intended use case. An *atomic software component*, for example, is *a non-composed software component that may be not relocatable* [AUb], which makes the whole application immediately non-portable.

A component model normally describes the mapping between interface description, code, configuration and rules for packaging. This leads to standardized units of deployment, which can be installed and instantiated independent from each other on nodes in the system. The most prominent examples from the non-automotive world are the *CORBA Component Model (CCM)* [Gr12b] and the various JavaEE packaging formats such as EJB [EJ09] and WAR [CY03].

Although AUTOSAR has a concept of abstract interface and configuration descriptions, it does not define a binary packaging format. This is not a surprise, since run-time deployment never was a target in the standardization. This makes AUTOSAR components look more like modules or packages in classical programming, which is fine for a static setup. They fit to the intended use case, but are again not ready for future applications with dynamic loading and unloading scenarios. In such cases, the resource and life-cycle management must be covered by lower layers in the stack, which typically leads to a container run-time environment. These containers need a true package format that enables binary portability of the software component, which is currently not given in AUTOSAR.

6 Containers

A *container* is an execution environment that manages connectivity, life-cycle events and resources for instantiated components. Examples from standard middleware products are the Java EE application server, the CORBA ORB, the Ruby interpreter or the Windows Service Host for DCOM/COM+ components.

Components need to follow specific rules in their packaging, interfaces and behavior for being maintainable by a container. They describe their resource demands in a *deployment descriptor*, instead of allocating and releasing resources by themselves. At run-time, a separation of responsibilities now becomes possible: The container is managing execution resources by the help of the operating system, and the component focuses on the core functionality of the software feature. This makes components truly portable across different hardware environments and use cases.

AUTOSAR has no visible container concept. Although basic software layer and RTE layer offer a standardized API for components, they do not take over the complete resource management or the life-cycle of AUTOSAR components. Software defects in AUTOSAR components, such as exhaustive resource consumption or non-cooperative communication behavior, can easily impact the whole ECU without any reasonable way to mitigate such problems. This makes testing and validation extremely critical in classical automotive software development and skips runtime protection completely.

A container concept would serve as logical continuation of the interface, software component and RTE ideas in AUTOSAR. It would offer a layer of defense that utilizes operating system and hardware capabilities for managing components during their lifetime. If the binary format of the component implementation is interpreted code, such as with Java or script languages, then the components easily become movable and deployable on heterogeneous hardware. Portability mechanisms as OSGi [OS14] show that this even works under tight resource constraints.

We can only speculate why the AUTOSAR inventors omitted such a concept so far. One reason might be the demand for best-possible timeliness by removing layers at run-time. This is understandable when the strict cost constraints for vehicle ECU hardware are the main decision factor. On the other hand, it is undeniable that such a container concept would open new possibilities for dynamic code loading, isolation and component migration, without breaking the existing programming model. It would allow to make dynamically use of underutilized resources at run-time, instead of having completely unused computation and memory resources that only exist for safety margin purposes.

Some research projects already added a reconfiguration layer or software component activation/deactivation concepts on top of classical AUTOSAR [Ze13]. This is a good starting point, but we see more potential in giving AUTOSAR a real container concept, similar to middleware stacks such as JavaEE and CCM. This would allow to separate resource and life-cycle management strategies from the component binary, and eases the realization of backward compatibility by designing dedicated container implementations for legacy APIs.

The combination of a clear container concept on top of a real-time operating system like QNX would support the needed dynamics for future applications. Legacy support as well

as a gradual transition from classic AUTOSAR ECUs to the new architecture could be supported by operating system drivers which do support the RTE wire protocol translation.

It remains the task of the automotive industry to decide if a minimal increase in resource consumption and round-trip times, as being produced by a container indirection, can be tolerated for getting advanced isolation and flexibility for code at run-time.

7 Conclusion

The AUTOSAR specification is a success story. One example is Volvo, with approximately 20 Million ECU's based on AUTOSAR in seven car models. By 2020, this is expected to have tripled [Ul16]. However, when comparing AUTOSAR with the state of the art in research and other industries, it seems to be time for the standard to catch up again for remaining future proof. We identified the following major points of potential improvement for future AUTOSAR versions:

- Classic AUTOSAR aims for component source code that is portable from one hardware ECU platform to another. This demand seems to be the underlying origin for most design decisions that are given today in the standard. Binary portability, which needs a packaging format and robust life-cycle support, is not covered so far, but will become a relevant aspect for future applications.
- The current specifications lack a strong notion of compliance. This makes AUTOSAR tool chains (code generators, validators, configuration validators) not comparable in their quality or completeness with respect to the standard. The resulting effect is, that tools only become compatible to themselves, which ultimately pushes OEMs into a tool vendor lock-in situation they wanted to avoid in the first place.
- The AUTOSAR standard itself is a very complex document and seems to make gradual improvement extremely difficult. One part of the problem seems to be the wild mixture of implementation strategies, architectural principles and data formats in the documents. A closer look on the structured meta model approach of the OMG may help to find better ways for describing the core ideas of the AUTOSAR specification.

One interesting trend with respect to these suggestions is *Adaptive AUTOSAR*, which aims for a service-oriented communication stack that is still interoperable with classic AUTOSAR components. Although *Adaptive AUTOSAR*[AU17] is officially released, information sources about this attempt remain scarce. It seems like the enforcement of isolation, e.g. by disallowing a complex driver pass-through, is getting more attention now. We are curious to see if in the end, the problems raised in this article are solved by *Adaptive AUTOSAR*.

References

[AUa] AUTOSAR: , Application Interfaces User Guide. Document ID 442 (AUTOSAR_EXP_AIUserGuide), AUTOSAR Release 4.2.2.

[AUb] AUTOSAR: , Glossary. Document ID 055 (AUTOSAR_TR_Glossary), AUTOSAR Release 4.2.2.

[AUc] AUTOSAR: , Layered Software Architecture, Document ID 053 (AUTOSAR_EXP_LayeredSoftwareArchitecture), AUTOSAR Release 4.2.2.

[AUd] AUTOSAR: , Main Requirements, Document ID 054 (AUTOSAR_RS_Main), AUTOSAR Release 4.2.1.

[AUe] AUTOSAR: , Project Objectives, Document ID 599 (AUTOSAR_RS_ProjectObjectives), AUTOSAR Release 4.2.1.

[AUf] AUTOSAR: , Requirements on AUTOSAR Features, Document ID 294, AUTOSAR Release 4.2.2.

[AUg] AUTOSAR: , Requirements on Methodology. Document ID 362 (AUTOSAR_RS_Methodology), AUTOSAR Release 4.2.2.

[AUh] AUTOSAR: , Software Component Template. Document ID 062 (AUTOSAR_TPS_SoftwareComponentTemplate), AUTOSAR Release 4.2.2.

[AUi] AUTOSAR: , Specification of RTE, Document ID 084 (AUTOSAR_SWS_RTE), AUTOSAR Release 4.2.2.

[AUj] AUTOSAR: , Specification of Service Discovery. Document ID 616 (AUTOSAR_SWS_ServiceDiscovery), AUTOSAR Release 4.2.2.

[AU14] AUTOSAR: Basic Information - Short Version. 2014.

[AU17] AUTOSAR: Adaptive Platform Release Overview, Document ID 782 (AUTOSAR_TR_AdaptivePlatformReleaseOverview), AUTOSAR AP Release 17-03. 2017.

[Br97] Bradner, Scott: Key words for use in RFCs to Indicate Requirement Levels (BCP-14). RFC 2119, Network Working Group, March 1997.

[CY03] Coward, Danny; Yoshida, Yutaka: , Java Servlet Specification, Version 2.4, 11 2003.

[EJ09] EJB 3.1 Expert Group: , JSR 318: Enterprise JavaBeans,Version 3.1, 11 2009.

[Go17] Google Developers: , Protocol Buffers Version 3 Language Specification, 05 2017.

[Gr12a] Group, Object Management: , Common Object Request Broker Architecture (CORBA), Version 4.0, Part 1: CORBA Interfaces, 2012.

[Gr12b] Group, Object Management: , Common Object Request Broker Architecture (CORBA), Version 4.0, Part 3: CORBA Component Model, 2012.

[KB03] Kopetz, Hermann; Bauer, Günther: The time-triggered architecture. Proceedings of the IEEE, 91(1):112–126, 2003.

[MB11] Melin, Jesper; Boström, Daniel: , Applying AUTOSAR in Practice: Available Development Tools and Migration Paths, 2011.

[Mc16] McKinsey & Company: Automotive revolution - perspective towards 2030. Advanced Industries, 2016.

[Mu09] Mutschler, Christopher: Automatic Generation of AUTOSAR Software Component Descriptions. 2009.

[Ob05] Object Management Group, Inc.: , Real-time CORBA Specification, Version 1.2, 01 2005.

[OS14] OSGi Alliance: , The OSGi Alliance OSGi Core, Release 6, 06 2014.

[Sc15] Schneider, David: Jeep Hacking 101. IEEE Spectrum, Aug 2015.

[Sm] Smets, Philippe: Imperfect Information: Imprecision and Uncertainty. In (Motro, Amihai; Smets, Philippe, eds): Uncertainty Management in Information Systems, pp. 225–254. Springer US.

[Sz02] Szyperski, Clemens: Component Software: Beyond Object-Oriented Programming. Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., Boston, MA, USA, 2nd edition, 2002.

[Ta16] Taub, Eric A.: Your Car's New Software Is Ready. Update Now? The New York Times, Sep 2016.

[TB01] Tari, Zahir; Bukhres, Omran: Fundamentals of Distributed Object Systems: The CORBA Perspective. Wiley-Interscience, 1st edition, 2001.

[Ul16] Ulf Alvebratt: , AUTOSAR 4 Clean-Cut Implementation. 9th AUTOSAR Open Conference, Gothenburg, Sweden, 09 2016.

[Vi08] Vinoski, Steve: Convenience Over Correctness. IEEE Internet Computing, 12(4):89 – 92, 2008.

[Ze13] Zeller, Marc; Prehofer, Christian; Krefft, Daniel; Weiss, Gereon: Towards Runtime Adaptation in AUTOSAR. SIGBED Rev., 10(4):17–20, December 2013.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 1487

Automotive Systems Modelling with Vitruvius

Manar Mazkatli[1] Erik Burger[1] Anne Koziolek[1] Ralf H. Reussner[1]

Abstract: Model-driven technologies are widely used in the development of systems in the automotive domain. Although modelling tools and code generation increase the development speed and the quality of the developed system in general, the availability of several modelling languages for different stages of the development process also introduces additional problems: Developers use several models to describe the same system on different levels of abstraction, which serve as documentation, basis for code generation, but also for model-based analyses of system properties such as security, performance, or reliability. If models are modified independently, inconsistencies can arise, which lead to incorrect results of these analyses, complicate the implementation of new features, and create errors at later stages in development that are costly to fix.

In this paper, we apply the model-based Vitruvius approach, which preserves consistency in heterogeneous modelling environments, to a scenario of automotive systems development. The scenario includes the modelling standards SysML, AMALTHEA and ASCET. We show, at the example of an onboard controlling unit, how the Vitruvius approach can be used to increase consistency in automotive system development and reduce the accidental complexity that arises for developers who have to work with heterogeneous modelling languages.

Keywords: Vitruvius, view-based development process, model-based development process, automotive systems, declarative description of correspondence rules.

1 Introduction

The development of a technical system includes the modelling of the system from different perspectives and at different levels of abstraction. The models that are created during this process may be models of hardware, software, and additional information such as non-functional properties. Program code in general-purpose languages such as C is then often generated from these models.

In the automotive domain, for example, the SysML and AUTOSAR standards are widely used in conjunction with specific platforms such as AMALTHEA or ASCET. Often, there is no specified interface for the exchange of models between these standards. Thus, developers exchange the needed information and documentation along the development process and are often forced to manually check for consistency between the models. This process is,

[1] Karlsruhe Institute of Technology, Institute for Program Structures and Data Organisation (IPD)
Am Fasanengarten 5, 76131 Karlsruhe, Germany
{manar.mazkatli|burger|koziolek|reussner}@kit.edu

doi:10.18420/in2017_148

however, expensive because a great part of the exchanged files is written by hand, and the reuse of information is done using error-prone techniques, e.g., copy and paste.

During the evolution of a system, developers may also alter these models independently of each other. A modification in one of the models can lead to an inconsistent description of the system if it is not manually propagated to all other models, which may in turn lead to inaccurate simulations and analyses, for example security or performance analyses. If inconsistencies affect the generated program code negatively, this problem is only be detected in late stages of the development process, e.g., during the assembly phase. Since compilation of program code can take up several hours in systems of common size, the correction of these inconsistency errors is very time-consuming.

VITRUVIUS [KBL13; Bur14] is a model-based approach for the development of software with heterogeneous modelling standards. It contains declarative languages for consistency relations between heterogeneous models that describe the same system, which are used to detect violations and to re-establish consistency in the system model. In this paper, we will describe how we have applied the VITRUVIUS approach to automotive systems engineering to improve the reliability of automotive systems. We have conducted a case study that describes the development of an onboard control unit for automotive systems, using the languages and standards SysML, AMALTHEA, and ASCET. To use these languages in the *Eclipse Modeling Framework*, which is the technical space of the VITRUVIUS prototype, we have selected appropriate metamodels and defined an import procedure for existing models. To express the consistency relations between these types of models, we have defined declarative mapping specifications in the Mappings language of VITRUVIUS.

After a description of the foundations of model-driven engineering and especially the VITRUVIUS approach in section 2, we will introduce our case study of an automotive software controller in section 3. In section 4, we describe the application of VITRUVIUS in our case study. After related work (section 5) and future work (section 6), we conclude the paper with section 7.

2 Foundations

2.1 Model-Driven Engineering

Model-Driven engineering is a development paradigm that puts models in the centre of the development process and uses the following concepts [Sch06]: First, *domain-specific languages (DSL)* express domain concepts, which reduce the complexity in the modelling of systems. DSLs are defined using *metamodels*, which themselves are defined using a standardised, fixed meta-metamodel. Second, *transformations engines* are used to transform these models into instances of other DSLs or into textual representations, such as code.

The Eclipse Modeling Framework (EMF)[2] is a development framework for model-driven development that is implemented using the Java-based Eclipse platform.

2.2 Vitruvius

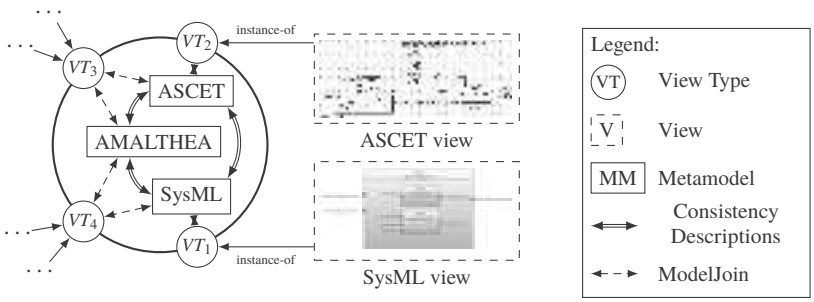


Fig. 1: The modular SUM Metamodel concept of Vitruvius at the example of automotive systems engineering

Vitruvius [KBL13] is a view-based, model-driven framework for the management of heterogeneous models, i.e., models that are instances of different metamodels. It is based on the concept of a *single underlying model (SUM)* [ASB10], which represents all the information that is available about the system under development, and implements this concept into a *virtual SUM (VSUM)* that encapsulates existing metamodels and enriches them with correspondence information and custom *views*, which are specialized models, following the definition of Goldschmidt et al. [GBB12]. The VSUM conforms to a customized metamodel that is specific to the domain in which the Vitruvius approach is used; for example, in the automotive domain, it may contain the metamodels of SysML, AMALTHEA and other standards, which are combined to form a modular SUM metamodel (see Figure 1). The metamodels are included non-intrusively and do not have to be adapted. To express the semantic relations between the elements of the metamodels, Vitruvius defines a language framework for consistency description and restoration that consists of three languages for *reactions*, *mappings* and *invariants*. Since Vitruvius is a view-based approach, all information in the SUM can only be retrieved or manipulated via specialized views. For the definition of view types and views, Vitruvius uses the *ModelJoin* language [Bur+14]. The consistency preservation mechanism is triggered by changes to one or several views. The preservation mechanism of Vitruvius then reacts on a list of changes to propagate them to the SUM.

Vitruvius has been implemented as a prototype[3] in the Eclipse Modeling Framework and can thus be used with any Ecore-conforming metamodel. So far, it has been applied to software architecture models and model-based representations of programming languages

[2] `http://www.eclipse.org/modeling/emf/`, retrieved 2016-12-13
[3] `https://sdqweb.ipd.kit.edu/wiki/Vitruvius`, retrieved 2017-02-13

[LK15]. It has been also applied to component-based software development [Kra+15] and systems modelling of energy networks [BMK16].

Leonhardt et al. [Leo+15] have introduced two strategies to integrate one legacy model into VITRUVIUS. Moreover, we have extended VITRUVIUS concept in [Maz16] to check the consistency between several legacy models automatically, resolve the conflicts semi-automatically (if founded) and integrate these models in VITRUVIUS platform.

3 Case Study of PID Controller Software Development

This case study describes the development of a controller software using a traditional PID (Proportional, Integral, and Derivative) control algorithm. This algorithm is commonly used in the automotive field (e.g., for controlling throttle positions). It depends on a control loop feedback mechanism to calculate an error value as the difference between a desired set point (`target_position` in our case study) and a measured process variable (`actual_position` in our case study). Then it attempts to minimize this error over time by adjustment of a control variable (`new_position` in our case study). Figure 2 shows the layout of the Electronics Control Unit (ECU) that will later execute the control algorithm. In this development scenario, the developers describe the structure of the controller software using *SysML*. Then they describe the software architecture in *AMALTHEA* platform to generate glue-code describing tasks, operating system configuration and the scheduling. They implement the defined architecture using *ASCET* and generate the implementation code. The integration of both codes on circuit provides the final executable code. The following subsections give an overview of the modelling tools and the problem that arises during the development process.

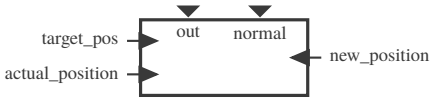


Fig. 2: Layout of the control algorithm ECU

3.1 Languages and Models

SysML (Systems Modelling Language) is a graphical modelling language developed for systems engineering [OMG12]. SysML can depict a system's structure using Block Definition Diagrams (BDD) and Internal Block Diagrams (IBD). BDDs provide a black box representation of a system's blocks and the interconnections between them in term of *flow ports*, whereas IBDs instantiate them to represent the final assembly of the system.

In our case study, we describe the controller software structure using an IBD. Figure 3 shows ControlAlgorithm Block with its internal blocks (PID Tuning Block and Limiter Block) in addition to its in-/out-ports (`actual_position`, `target_position` and `new_position`).

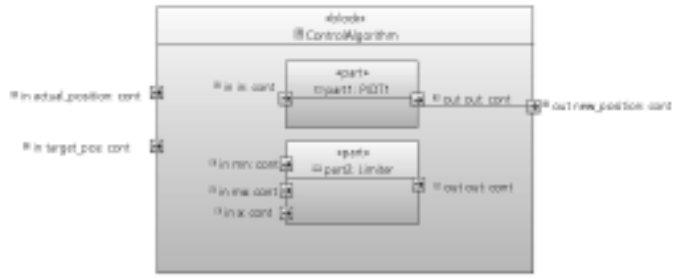


Fig. 3: Modelling the structures of control algorithm case study using IBD

AMALTHEA is an open and expandable tool platform for embedded multicore systems. It combines the developing tools of the automotive ECUs in a single platform [BJ13]. Our case study describes the PID controller software architecture using AMALTHEA component models and software models. Component models define the components (e.g., *ControlAlgorithm*) and the connection between them, whereas the software model defines software units. *Runnables* are executable software units that can be run in parallel (e.g., `ControlAlgorithm_normal` and `ControlAlgorithm_out`). *Labels* are data elements that are located in memory and that are read/written by runnables (e.g., `new_position`, `target_pos`, and `actual_position`). *Processes* are a generalization of tasks that define execution paths calling runnables/other processes (e.g., `_10MS` task). From these models, the developers generate the C code (glue-code) including the OSEK Implementation Language (OIL) files[4] that describe OSEK real time systems (multitasking and communication configuration).

ASCET (The Advanced Simulation and Control Engineering Tool) is a tool suite from ETAS GmbH for model-based development of embedded automotive software. ASCET Modeling and Design (ASCET-MD)[5] is a part of the ASCET product family and offers executable specification of ECU functions using graphical tools (e.g., block diagrams and state machines) or by textual tools (e.g., Embedded Software Description Language (ESDL) editors, and C code editors). For example, the block diagram editor shown in Figure 4 describes the functionality of the ControlAlgorithm software component in terms of an *AscetModule*. The diagram shows its internal components: a pre-defined component *Limiter* provided from the ASCET database, and the *PIDT1* component described in another block diagram. Furthermore, it shows imported data from other blocks, such as messages (`target_pos` and `actual_position`), the output message exported to other blocks (`new_position`), and the flow of the data/control signal through different arithmetical/logical operations. This model generates the C code that will be then integrated with AMALTHEA glue-code.

[4] `http://www.irisa.fr/alf/downloads/puaut/TPNXT/images/oil25.pdf`, retrieved 2016-12-13
[5] `http://www.etas.com/de/products/ascet_md_modeling_design-details.php`, retrieved 2016-12-13

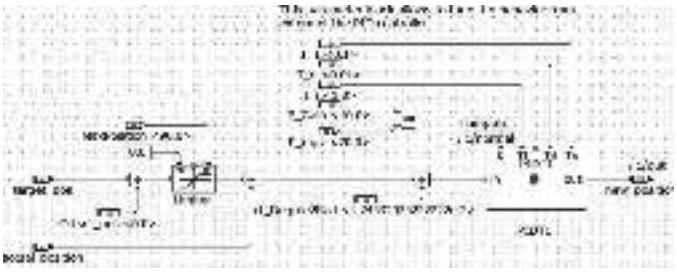


Fig. 4: Modelling of control algorithm in ASCET using block diagram editor

3.2 Consistency Preservation

To keep the consistency between the models in automotive systems domain, the developers usually exchange documents including the needed information and documentation along the development process. Developers may, for example, apply technology based on Manufacturer Supplier Relationship (MSR)[6] [SLG05] and XML [WH04]. This technology stores the information in a uniform format once in a shared database. As explained in section 1, this approach suffers from manual production and synchronisation of documents, which can lead to inconsistencies. This may result in high costs for resolving potential conflicts that are first detected at the assembly stage. Further problems are drift and erosion between models and code, if potential inconsistencies are resolved only by correcting code errors.

4 Preserving Consistency with Vitruvius Approach

This section describes the consistency preservation of our case study based on Vitruvius. First, we explain how we prepare Vitruvius platform to be used for consistent view-based development. Then, we illustrate how we have evaluated the declarative mappings between the metamodels of our case study. Finally, we show the result of the evaluation.

Initializing Vitruvius Platform: In the first step of applying Vitruvius, we create the modular SUM metamodel, which includes an Ecore-based metamodel for each of the three modelling languages SysML, AMALTHEA and ASCET. Since the metamodels of both SysML and AMALTHEA are Ecore-based, we have imported and reused them directly. For ASCET, we have used the ASCET Data Object Model (ADOM) metamodel, which is defined in conjunction with the ASCET XML Model Description (AMD) metamodel.

The three metamodels share a high semantic overlap. Therefore, we have identified the semantic correspondences between them. Table 1 lists the most important correspondences

[6] http://www.msr-wg.de, retrieved 2016-12-13

SysML	AMALTHEA	ASCET	Examples from the case study
Block	Component	AscetModule	ControlAlgorithm
FlowPort	Label	Message	target_pos, actual_position, new_position
–	Runnable	Method	normal, out
–	Task	Task, InitTask, etc	_10MS

Tab. 1: Main correspondences between SysML, AMALTHEA and ASCET

with examples from the PID controller case study. To control this redundancy of information according to VITRUVIUS, we had to define the mapping between the artefacts sharing the same semantic, the invariants that violate the consistency, and the reactions that can restore the consistency when the invariants are violated. In this work, we concentrate on defining the mapping between the metamodels of our case study with declarative mappings language of VITRUVIUS. List. 1 illustrates an example of the declarative mapping using the VITRUVIUS mapping language. This example defines the correspondence between the Component metaclass of the AMALTHEA metamodel and the AscetModule metaclass of the ASCET metamodel, which describes the behaviour of this component. The example shows also the sub-mapping and correspondence between Runnable (AMALTHEA) and Method (ASCET) on one hand (lines 6–9) and the AMALTHEA Label and ASCET Message data types on the other hand (lines 10–13). The mapping conditions are written between square brackets. After this, the VITRUVIUS framework generates the bidirectional model-based transformations that are used for re-instating the consistency.

```
1 import package "http://amalthea.itea2.org/model/1.0/components" as comp
2 import package "http://com.bosch.swan.ascet.adom/1.0" as adom
3 mapping ascetModule_component:
4 map {adom.AscetModule as ascetModule} and {comp.Component as component}
5 {   [equal (ascetModule.(name),component.(name))]
6 map {ascetModule.methods as method} and {component.runnables as runn}
7     {[    equal(Method.name, runn.name)
8           empty(method.arguments)
9           equal(method.ret,null) ]}
10 map {ascetModule.elements as messag} with {messag.type==adom::Message}
11          and component.(labels as label)
12    {[    equal(label. constant,false)
13          equal(label.name,messag.name) ]} }
```

List. 1: Correspondence rule between AscetModule and Component

Evaluation: To evaluate the defined mappings and their implementation (the bidirectional model-based transformation), we wrote a set of test cases that define different scenarios to rebuild the models of the PID controller case study in the VITRUVIUS platform. According to

each scenario, the test case instantiates the modular SUM metamodel, makes some changes to the models (create, update or delete some objects), and then triggers the synchronisation to propagate them to the related models. Finally, the test case asserts that the changes are correctly propagated. One of the test cases scenario can be the following: creating an AMALTHEA Component object named `ControlAlgorithm`, creating two Runnable objects (`out`, `normal`), and three Label objects (`actual_position`, `target_position`, `new_position`) and assigning them to the ControlAlgorithm component. The expected changes after the synchronisation are: creating the related AscetModule object `ControlAlgorithm` that consists of two Method objects without arguments or return type (`out`, `normal`), and three Message objects (`actual_position`, `target_position`, `new_position`). Moreover, the synchronisation should create a SysML Block instance named `ControlAlgorithm` and containing three FlowPort objects (`actual_position`, `target_position`, `new_position`).

Results: The evaluation of the VITRUVIUS synchronisation based on the defined mapping showed the following issues: First, the VITRUVIUS synchronisation can often re-instate the consistency fully automatically. For example, the test case example defined in the previous section is performed correctly, i.e., the synchronisation automatically creates the related objects (AscetModule and SysML Block objects) with the shared information. Similarly, altering the name of an AMALTHEA Component object will automatically update the name of its related objects. Second, the synchronisation was not able to restore the consistency fully automatically in some cases. For instance, if the developer creates an AMALTHEA Task object named `_10MS`, the synchronisation will ask him then to select the type of ASCET Task object that should be created to restore the consistency. This is due to the one-to-many mapping between the AMALTHEA Task type on one hand and the ASCET Task type and its subtypes on the other hand (see the last row of Table 1). Third, the automatically created related objects may need further development to provide them with the non-shared information. For example, the AscetModule objects that are automatically created by the synchronisation should be further developed to describe the functionality in details. Thus, VITRUVIUS informs the developers with automatically generated elements that may need further development. Finally, the found results show that VITRUVIUS can be used to keep the consistency in a real-life development scenario of automotive heterogeneous models. The main advantages are that the automated synchronisation will save manual effort, avoid potential inconsistency that may occur during the manual process, resolve the conflicts with lower cost in the design stage, and keep the models consistent with their implementation.

5 Related work

This section describes related approaches that are used to keep consistency between automotive heterogeneous models. The document-centric approach (mentioned in section 1 and subsection 3.2) suffers from manual preservation of consistency. Born et al. [BFK10] suggest representing exchanged information as models – even if it is a document – to

ease tracing and to perform semi-automatic checks of consistency. Our approach also offers semi-automatic conflict resolution. Other works specify the relations between the models and use them to perform automatic consistency preservation. For example, Giese et. al. suggest using Triple Graph Grammars (TGGs) [Sch95] to describe the relationship between SysML and AUTOSAR [GHN10], and to generate the bidirectional model-based transformations needed to synchronise these two models with each other. If there are more than two models, additional chains of transformations should be built to connect them. The VITRUVIUS approach, however, offers the development and management of more than two heterogeneous models. Moreover, any change that violates the consistency constrains will be not processed but rather ignored according to Giese's concept, which is not the case in VITRUVIUS approach, where changes that violate consistency constraints can be handled by predefined response actions.

Other concepts keep consistency by generating a consistent model from another one using model-based transformations. For example, Selim et al. [Sel+15] apply model transformations to migrate from legacy models of General Motors, which are built using custom-built and domain-specific modelling language, to standardized AUTOSAR models. Model-to-model transformations have been also used by Sindico et al. [SNP11] to generate Simulink models from SysML models and vice versa. Similar work by Sjöstedt et al. [Sjö+08] transforms Simulink models to UML composite structure and activity models based on Atlas Transformation Language ATL. Macher et al. [MAK15] depend on seamless combination of heterogeneous tools approach [Bro+10] to exchange the models between SysML and Matlab/Simulink tools. Other work of Macher [Mac+15] based on the same approach generates the configuration of RTOS from control system information in SysML and vice versa. The approaches mentioned in this paragraph are limited to a specific combination of two models or languages. The VITRUVIUS approach, in contrast, can be used to combine arbitrary modelling languages, as long as they can be expressed as an Ecore-conforming metamodel. Vierhauser et al. [Vie+12] present a framework for checking and maintaining consistency between the Product Line (PL) model and some parts of underlying code. However, their approach is limited to PL models and their underlying code and does not support other models needed in software product line engineering.

6 Future Work

Currently, editors for the modelling languages used in our case study are not directly usable with VITRUVIUS. Therefore, we suggest connecting the modelling tools with the VITRUVIUS platform through implementing bidirectional transmitters. These transmitters should detect the changes made in the modelling tools and transform them to VITRUVIUS for the synchronisation on one hand. On the other hand, they should record the changes resulting by VITRUVIUS synchronisation and transform them to the modelling tools in order to update the models under development. If recording the changes in the modelling tool is not feasible, as it is the case of closed-source ETAS ASCET tool, then the transmitter should calculate them by comparing two recent versions of the model in a way similar to [BT14].

7 Conclusion

In this paper, we have demonstrated how the model-driven Vitruvius approach can be used in the development of automotive systems. Following the Vitruvius process, we have described how the existing standards SysML, AMALTHEA and ASCET can be used with the Eclipse-based Vitruvius framework. The case study of an onboard control unit demonstrated that the steps for preserving and re-instating consistency, which are usually carried out manually, can be automated with the Vitruvius framework. We have formulated change-based consistency rules with the declarative Reactions language of Vitruvius to automate steps of consistency preservation that would normally have to be carried out manually and were for this reason often omitted.

It is an important factor for reliable and secure systems that all the artefacts in the development process share consistency, so that they can provide an up-to-date description of the system under development at all stages. Model-driven technologies, which are used widely in automotive development processes, form the basis for the advanced consistency preservation methods of the Vitruvius approach. Thus, the accidental complexity of developing a system with multiple metamodels, languages, or development tools, can be reduced.

References

[ASB10] Colin Atkinson, Dietmar Stoll, and Philipp Bostan. "Orthographic Software Modeling: A Practical Approach to View-Based Development". In: *Evaluation of Novel Approaches to Software Engineering*. Ed. by Leszek A. Maciaszek, César González-Pérez, and Stefan Jablonski. Vol. 69. Communications in Computer and Information Science. Berlin/Heidelberg: Springer, 2010, pp. 206–219.

[BFK10] Marc Born, John Favaro, and Olaf Kath. "Application of ISO DIS 26262 in practice". In: *Proceedings of the 1st Workshop on Critical Automotive applications: Robustness and Safety*. ACM. 2010, pp. 3–6.

[BJ13] Christopher Brink and Jan Jatzkowski. *AMALTHEA (ITEA2 – 09013) – White Paper*. Tech. rep. University of Paderborn, Germany, 2013.

[BMK16] Erik Burger, Victoria Mittelbach, and Anne Koziolek. "Model-driven Consistency Preservation in Cyber-physical Systems". In: *Proceedings of the 11th Workshop on Models@run.time co-located with ACM/IEEE 19th International Conference on Model Driven Engineering Languages and Systems (MODELS 2016)*. (Saint Malo, France). CEUR Workshop Proceedings, Oct. 2016.

[Bro+10] Manfred Broy et al. "Seamless model-based development: From isolated tools to integrated model engineering environments". In: *Proceedings of the IEEE* 98.4 (2010), pp. 526–545.

[BT14] Erik Burger and Aleksandar Toshovski. “Difference-based Conformance Checking for Ecore Metamodels”. In: *Proceedings of Modellierung 2014*. Vol. 225. GI-LNI. Vienna, Austria, Mar. 2014.

[Bur+14] Erik Burger et al. “View-Based Model-Driven Software Development with ModelJoin”. In: *Software & Systems Modeling* 15.2 (2014). Ed. by Robert France and Bernhard Rumpe, pp. 472–496.

[Bur14] Erik Burger. “Flexible Views for View-based Model-driven Development”. PhD thesis. Karlsruhe, Germany: Karlsruhe Institute of Technology, July 2014.

[GBB12] Thomas Goldschmidt, Steffen Becker, and Erik Burger. “Towards a Tool-Oriented Taxonomy of View-Based Modelling”. In: *Proceedings of the Modellierung 2012*. Ed. by Elmar J. Sinz and Andy Schürr. Vol. P-201. GI-Edition – Lecture Notes in Informatics (LNI). Bamberg: Gesellschaft für Informatik e.V. (GI), Mar. 2012, pp. 59–74.

[GHN10] Holger Giese, Stephan Hildebrandt, and Stefan Neumann. “Model synchronization at work: keeping SysML and AUTOSAR models consistent”. In: *Graph transformations and model-driven engineering*. Ed. by Gregor Engels et al. Berlin, Heidelberg: Springer, 2010, pp. 555–579.

[KBL13] Max E. Kramer, Erik Burger, and Michael Langhammer. “View-centric engineering with synchronized heterogeneous models”. In: *Proceedings of the 1st Workshop on View-Based, Aspect-Oriented and Orthographic Software Modelling*. VAO ’13. Montpellier, France: ACM, 2013, 5:1–5:6.

[Kra+15] Max E Kramer et al. “Change-Driven Consistency for Component Code, Architectural Models, and Contracts”. In: *Proceedings of the 18th International ACM SIGSOFT Symposium on Component-Based Software Engineering*. ACM. 2015, pp. 21–26.

[Leo+15] Sven Leonhardt et al. “Integration of Existing Software Artifacts into a View- and Change-Driven Development Approach”. In: *Proceedings of the 2015 Joint MORSE/VAO Workshop on Model-Driven Robot Software Engineering and View-based Software-Engineering*. MORSE/VAO ’15. L’Aquila, Italy: ACM, 2015, pp. 17–24.

[LK15] Michael Langhammer and Klaus Krogmann. “A Co-evolution Approach for Source Code and Component-based Architecture Models”. In: *17. Workshop Software-Reengineering und-Evolution*. Vol. 4. 2015.

[Mac+15] Georg Macher et al. “Automotive real-time operating systems: a model-based configuration approach”. In: *ACM SIGBED Review* 11.4 (2015), pp. 67–72.

[MAK15] Georg Macher, Eric Armengaud, and Christian Kreiner. “Integration of Heterogeneous Tools to a Seamless Automotive Toolchain”. In: *Systems, Software and Services Process Improvement*. Ed. by Rory V. O’Connor et al. Cham: Springer International Publishing, 2015, pp. 51–62.

[Maz16] Manar Mazkatli. “Consistency Preservation in the Development Process of Automotive Software”. MA thesis. Karlsruhe Institute of Technology (KIT), 2016.

[OMG12] *OMG Systems Modeling Language (OMG SysML)*. Version 1.3. Object Management Group. June 2012.

[Sch06] D.C. Schmidt. “Guest Editor’s Introduction: Model-Driven Engineering”. In: *Computer* 39.2 (Feb. 2006), pp. 25–31.

[Sch95] Andy Schürr. “Specification of graph translators with triple graph grammars”. In: *Proceedings of the 20th International Workshop on Graph-Theoretic Concepts in Computer Science*. Springer. London, UK, 1995, pp. 151–163.

[Sel+15] Gehan MK Selim et al. “Model transformations for migrating legacy deployment models in the automotive industry”. In: *Software & Systems Modeling* 14.1 (2015), pp. 365–381.

[Sjö+08] Carl-Johan Sjöstedt et al. “Mapping Simulink to UML in the design of embedded systems: Investigating scenarios and transformations”. In: *OMER4 Workshop: 4th Workshop on Object-oriented Modeling of Embedded Real-Time Systems*. 2008, pp. 137–160.

[SLG05] Marek Szwejczewski, Fred Lemke, and Keith Goffin. “Manufacturer-supplier relationships: An empirical study of German manufacturing companies”. In: *International Journal of Operations & Production Management* 25.9 (2005), pp. 875–897.

[SNP11] Andrea Sindico, Marco Di Natale, and Gianpiero Panci. “Integrating SysML with Simulink using Open-source Model Transformations.” In: *SIMULTECH*. Ed. by Janusz Kacprzyk, Nuno Pina, and Joaquim Filipe. SciTePress, 2011, pp. 45–56.

[Vie+12] Michael Vierhauser et al. “Applying a consistency checking framework for heterogeneous models and artifacts in industrial product lines”. In: *International Conference on Model Driven Engineering Languages and Systems*. Springer. 2012, pp. 531–545.

[WH04] Bernhard Weichel and Martin Herrmann. *A backbone in automotive software development based on XML and ASAM/MSR*. Tech. rep. SAE Technical Paper, 2004.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 1499

Adapting Binary Decision Diagrams for Visualizing Product Configuration Data

Daniel Bischoff[1] and Wolfgang Küchlin[2]

Abstract: This paper deals with the challenges of visualizing and understanding complex interacting Boolean formulæ for selecting parts in an automotive Bill-of-Materials (BoM). Our approach targets entire BoM positions containing all variants of a part, each with its own selection formula. A part variant is needed for a car if the selection formula evaluates to true under the option list (feature list) which defines the car variant. Understanding the formulæ is critical when editing or when trying to analyze and explain a bug, but it is non-trivial. SAT-solving is commonly used to *detect* bugs, but *explaining* the cause of bugs is a different matter. Our approach is to visualize all selection alternatives in a single diagram based on an adaptation of binary decision diagrams (BDDs). We also visualize the influence of the configuration constraints for car variants on the selection diagrams and show how they can help to reduce their size. Based on this method we implemented a visualization tool which additionally serves as a visual formula editor.

Keywords: Software Product Lines, Binary Decision Diagrams, Visualization

1 Introduction – Structure

Premium car manufacturers such as Daimler produce large numbers of highly customizable products in product lines out of parts that exist in many possible variations. Variability drivers are technical restrictions, sales options serving specific customer demands, legal requirements of the distribution country, marketing strategies, etc.

Product documentation both defines how a customer can configure a car order out of all available options, and which (variants of) parts must be selected from the overall Bill-of-Materials (BoM) to build each order. Automotive product configuration is therefore organized on two levels. High Level Configuration uses Boolean constraints to define a subspace of valid option combinations (car variants) within the Cartesian product of all options. Low Level Configuration uses Boolean formulæ to select from the BoM the right variant of each part based on the option list which defines each car variant.

Note that a part does not need to be a physical object in this context, since the software of a car's electronic control units (ECU) must also be adapted in order to fit the individual

[1] Daimler AG Group Research & MBC Development, 89073 Ulm, Germany, daniel.bischoff@daimler.com
[2] Universität Tübingen, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät, Wilhelm-Schickard-Institut für Informatik, Symbolisches Rechnen, Sand 14, 72076 Tübingen, Germany, wolfgang.kuechlin@uni-tuebingen.de

doi:10.18420/in2017_149

car variant. One way to adapt the software is to use parameters to enable or disable certain functions, or to adapt the behavior of the ECU in general. The ECU is configured through predefined settings when an individual car is manufactured. These settings have to be selected for the respective car variants, based on the car's option list.

Since the features of a car are selected by a customer in the form of sales options, the terms "option" and "feature" can be used interchangeably. In state-of-the-art approaches for software variability management the Feature Oriented Domain Analysis (FODA) approach is used to model the problem space, whereas parameters and their values are part of the solution space [Ap13]. Feature models can be translated into Boolean formulæ [Ba05]. The vehicle variants, which result as possible selections of the feature model, are then mapped to the solution space.

The current approach to describe such mappings is by the use of Boolean formulæ. Visualizing and checking those formulæ is the subject of this paper. Broadly speaking, we present a way to visualize the underlying relations so that it becomes easy to check that they are indeed mappings, or to pinpoint defects in the formulæ.

The running example for this paper is as follows: Suppose one has implemented a special highway light software. This activates high beam mode as soon as the car's speed exceeds a specific limit. Since the limit has to be adapted to different car variants, the activation speed is a parameter. There are four Boolean features of the car which influence the activation speed. First it matters where the car is to get a MOT[3] approval, denoted here by the two features "GER" and "USA" respectively. The feature "NAVI" is used to indicate whether the car is equipped with a satellite navigation system which can help to recognize highways. One might also be able to predict whether the current road is a highway via a camera "CAM". We will use just those four features to influence our activation speed parameter. In practice, complex parameter configurations with more factors have to be taken into account.

Section 2 describes the mapping problem in detail and outlines the complexity. Section 3 presents different approaches for visualizing Boolean formulæ. Section 4 describes how our approach deals with feature constraints that limit the configuration space in practice.

2 The Problem – Configuration of Alternatives

The challenge at hand consists of mapping each vehicle variant to the correct parameter value. Due to the high number of possible variants this is done by functions (given as Boolean formulæ). These cover entire subsets of cars, rather than listing individual cars and their parameter values in variant tables. A typical configuration table shown in Tab. 1, which corresponds to a BoM position, holds all four possible values for our activation speed parameter p, consisting of values $70, 80, 90, 100$ and Boolean selection formulæ $\varphi_{70}, \ldots, \varphi_{100}$. We use upper case letters to denote vehicle features, $\wedge$ for conjunction, $\vee$ for

[3] Ministry of Transportation

disjunction, $\rightarrow$ for implication and $\neg$ for negation. $\top$ denotes the constant with value *true* and $\bot$ denotes *false*.

value		selection formula
$p = 70$	$\varphi_{70} =$	$(\neg GER \wedge NAVI \wedge CAM) \vee (USA \wedge GER \wedge NAVI \wedge CAM)$
$p = 80$	$\varphi_{80} =$	$(\neg USA \wedge GER \wedge NAVI \wedge CAM) \vee (\neg GER \wedge \neg NAVI \wedge CAM)$
		$\vee(\neg GER \wedge \neg CAM \wedge NAVI) \vee (USA \wedge CAM \wedge \neg NAVI)$
$p = 90$	$\varphi_{90} =$	$(\neg USA \wedge \neg GER \wedge NAVI \wedge \neg CAM) \vee (\neg USA \wedge GER \wedge \neg NAVI \wedge CAM)$
		$\vee(USA \wedge \neg NAVI \wedge \neg CAM)$
$p = 100$	$\varphi_{100} =$	$(\neg USA \wedge GER \wedge NAVI \wedge \neg CAM) \vee (\neg USA \wedge \neg NAVI \wedge \neg CAM)$

Tab. 1: Example configuration for a parameter with four possible values.

These formulæ denote a relation between vehicle variants and the parameter values. However, additional properties are required:

1. Since the parameter can only hold one value at a time, it is expected that the different options are alternatives.
2. The formulæ need to assign a value for every variant.

Property 1 requires the relation to be right-unique, Property 2 requires left-totality. I.e., in combination the selection formulæ have to be constructed in such a way that for all assignments of the vehicle features exactly one formula evaluates to true.[4] These properties ensure that the relation is a (total) mapping. More formally we can write this as

$$\underset{v \in 2^F}{\forall} \left(\sum_i \texttt{int}(\varphi_i|_v) = 1 \right). \tag{1}$$

- F is the set of vehicle features (here $F = \{GER, USA, NAVI, CAM\}$).
- `int` is a function that transforms a Boolean constant to an integer, i.e. $\texttt{int}(\top) = 1$ and $\texttt{int}(\bot) = 0$.
- $\varphi_i|_v$ denotes the evaluation of φ_i given the vehicle feature selection in v.
- 2^F is the power set of F and therefore a $v \in 2^F$ is a vehicle variation. If a vehicle feature $f \in F$ is in v, it is included in the vehicle variant, else it is absent.

$$f|_v = \begin{cases} \top \text{ if } f \in v \\ \bot \text{ otherwise} \end{cases} \tag{2}$$

  In this way all variables in the various φ are assigned a value and the $\varphi|_v$ evaluate to a constant.

[4] Here this is not the case in order to show how our approach deals with those errors.

For simplicity, the given example is kept short as it is used throughout the rest of the paper. However, one can easily imagine that such configuration tables can become large and the corresponding formulæ can become quite complex. Large and complex selection formulæ are hard to read and even harder to maintain for a human documentarist [HB05].

The process of error checking, i.e. ensuring that exactly one formula is true in each table for all possible assignments, is error-prone, if not outright impossible to do by hand for complex formulæ. Moreover, there are as many formulæ as there are parts in the BoM, between about 30,000 and 100,000 in practice. Fortunately, this property can be efficiently checked with a SAT-solver even for large numbers of large formulæ [KS00; MC03; SKK03].

However, there is still the problem of explaining each error to the user – a terse answer of SAT or UNSAT is hardly sufficient — and there is the related problem of supporting the user in developing or correcting these complex formulæ. In addition, an approach like in [SKK03] reports errors on the level of individual position variants and does not provide a comprehensive view of the entire situation at the position. A SAT solver will also report an overlap error in the form of any single car which selects two part variants, but it will not provide a representation of *all* cars which produce the same error.

The next section will show different approaches to visualize such configuration tables in order to make checking for errors easy.

3 Binary Decision Diagrams

The well known Binary Decision Diagrams (BDDs) [Ak78] provide a graphical representation of Boolean formulæ. The representation is even unique (within a Boolean equivalence class) if Reduced Ordered BDDs (ROBDDs) are used [Br92]. From an ROBDD the user can read off the answer to the following question: "which *true* / *false* decision do I have to make for each Boolean variable in a predetermined order to reach a result of *true* (resp. *false*) for the value of the formula?"

If we wanted to draw OBDDs for the four formulæ from Tab. 1, we could do this for example with the arbitrary ordering $CAM < NAVI < GER < USA$ as seen in Fig. 1. One could also combine these OBBDs into a shared OBDD (cf. [Kn09]) depicted in Fig. 2. These BDDs are interpreted by starting at the root of the tree, following the dashed line if a variable is assigned *false*, and following the solid line for *true*. It is still very hard to see if there is any assignment (i.e. car) where multiple formulæ or none at all evaluate to *true*. Therefore these traditional visualization approaches are not suitable for our problem.

Instead we propose a multi terminal BDD approach (as in [Cl93] and [Ba93]). For this purpose we construct a single formula by combining the selection formulæ φ_i from Tab. 1 and new variables $P_{70}, P_{80}, P_{90}, P_{100}$. Variable P_i encodes the fact that parameter P is set to value i. We call the result *parameter formula* since it describes all possible values and their

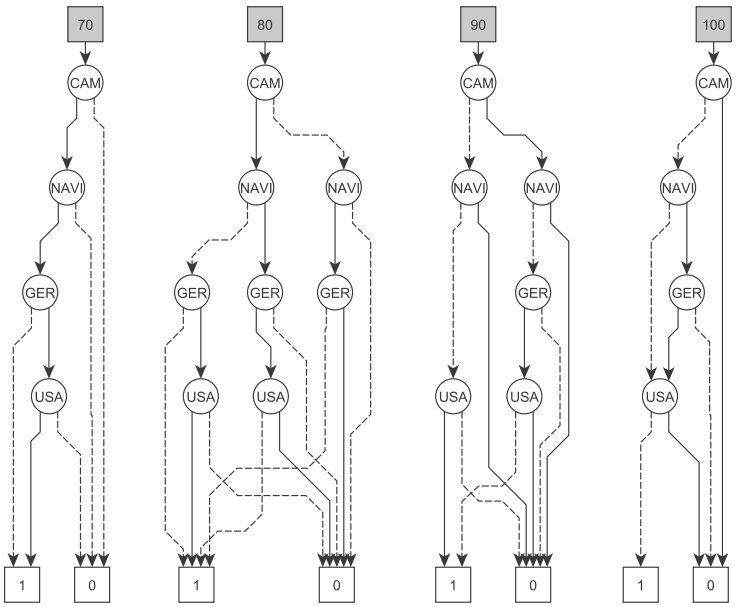


Fig. 1: OBDDs for $\varphi_{70}, \varphi_{80}, \varphi_{90}, \varphi_{100}$. The numbered roots show where each BDD starts.

conditions for the parameter. In general the parameter formula ψ for a parameter with some designated values is constructed as follows:

$$\psi = \bigwedge_i (\varphi_i \rightarrow P_i) = \bigwedge_i (\neg\varphi_i \vee P_i) \tag{3}$$

This ensures that whenever a selection formula evaluates to *true*, the corresponding part variable is also forced to *true*. In our case from Tab. 1 this results in

$$\psi = (\neg\varphi_{70} \vee P_{70}) \wedge (\neg\varphi_{80} \vee P_{80}) \wedge (\neg\varphi_{90} \vee P_{90}) \wedge (\neg\varphi_{100} \vee P_{100}). \tag{4}$$

When one draws the BDD for ψ with respect to the variable order

$$(CAM, NAVI, GER, USA, P_{70}, P_{80}, P_{90}, P_{100}).$$

the result is a regular BDD where the lower half (shown in Fig. 3) contains the new variables. To make the transition towards a multi terminal BDD easier to see, we removed the negative terminal in Fig. 4.

In Fig. 4 one can clearly see that a satisfying assignment on the leftmost path has to assign $P_{70} = true$ for example. On the rightmost path none of the P are relevant, which can only be the case if none of the φ in ψ are satisfied.

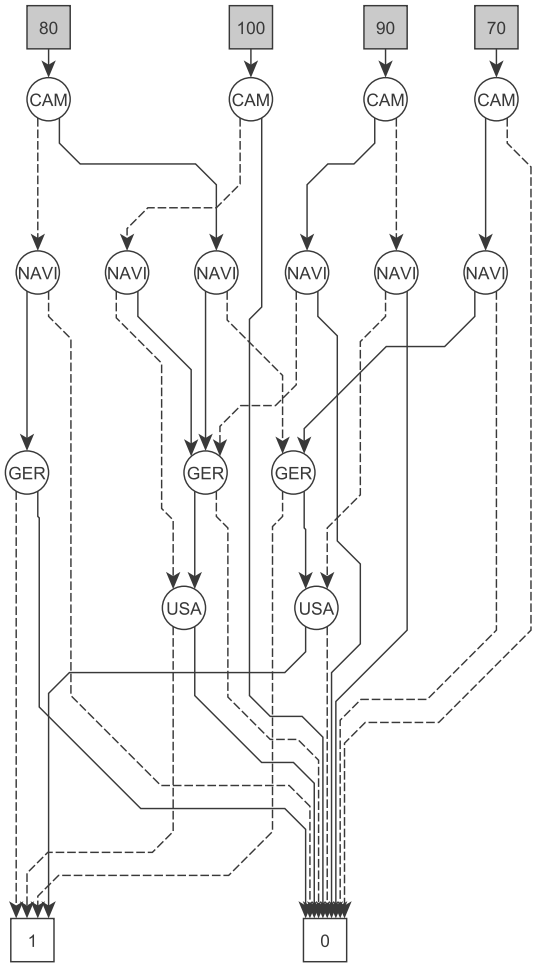


Fig. 2: A shared OBDD for all formulæ from Tab. 1. The numbered nodes at the top show where each formula's BDD starts.

To compile the multi terminal BDD we stop drawing after the feature level and form terminal nodes (cf. Fig. 5). Each terminal node represents a formula where the features $CAM, NAVI, GER, USA$ are already assigned a value and therefore this formula only consists of the variables $P_{70}, \ldots, P_{100}$. In each terminal node we write the variables which have to be set to true in order to satisfy the corresponding formula. This might be none[5],

[5] If none of the P_i have to be assigned a specific value in order to satisfy ψ, the formula is already *true* at this point. I.e. the node is the positive terminal of the BDD. This is the case only when all the φ_i are false.

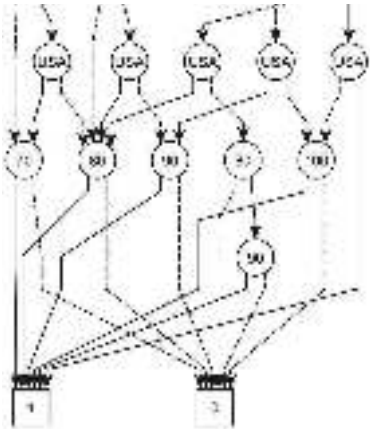


Fig. 3: The lower half of a BDD for ψ.

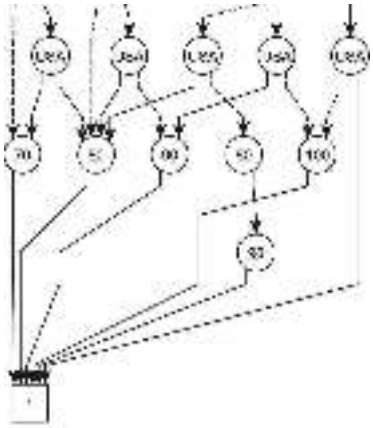


Fig. 4: The lower half of a BDD for ψ without the negative terminal.

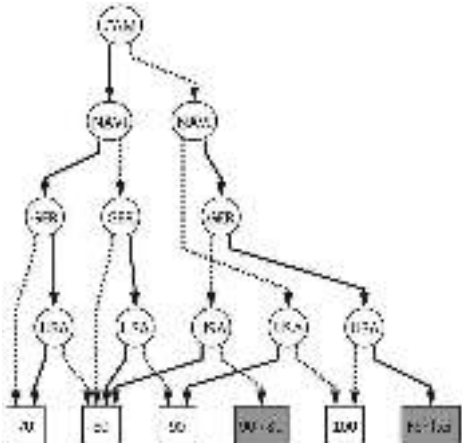


Fig. 5: A multi terminal BDD visualizing the formulæ from Tab. 1 (*Fehlteil* is German for missing part).

one or many of the P_i. Note that it is not possible to falsify ψ without assigning the P_i. The result for the formulæ from Tab. 1 is shown in Fig. 5.

In this visualization one can clearly see that there is an assignment for which two formulæ evaluate to true, hence the terminal labelled "90+80". It is also obvious that there is an assignment for which none of the formulæ evaluate to true, hence the terminal that reads *Fehlteil* (missing part). One can also see which assignments lead to these situations.

In our opinion the visualization using the multi terminal approach is superior for the task at

hand compared to the standard BDD approaches. In the next section we will show how our approach deals with additional configuration constraints that limit the variability space of possible cars.

4 High Level Configuration

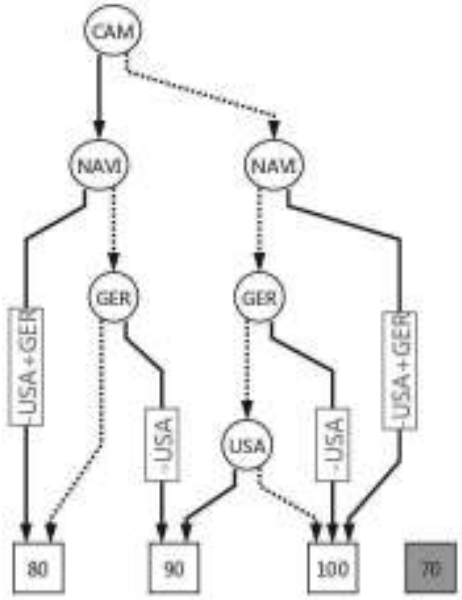


Fig. 6: A labeled edge multi terminal BDD visualizing the formulæ from Tab. 1 under the HLC.

Real world vehicle features are subject to configuration constraints. In the automotive industry, these are known e.g. as Model Description (VW), Vehicle Description Summary (General Motors), or Product Overview (Daimler: *Produktübersicht*). In line with the FODA approach, the term High Level Configuration (HLC) is used [Ha98] for the problem of configuring a vehicle from sales options, in contrast to the Low Level Configuration problem of configuring an individual vehicle from the set of all materials in the BoM. HLC dependencies are complicated and are organized as a set of Boolean constraints (several thousand in practice). Tab. 1 showed an example without an HLC, i.e. all assignments to the variables CAM, NAVI, GER, USA were possible without limitations. Let us assume an HLC where GER and USA exclude each other because we aim to produce cars for single countries only. Further we assume that NAVI implies GER because there are only road maps for Germany available. The HLC can then be written as follows:

$$(\neg USA \vee \neg GER) \wedge (\neg NAVI \vee GER). \tag{5}$$

We can now draw our BDD while respecting the HLC by conjugating this formula to ψ.

Since some feature combinations are forbidden by the HLC, there is no reason to draw them. Instead when the HLC forces a variable assignment, we label the corresponding edge with that assignment. In Fig. 6 an assignment of *true* to $NAVI$ forces the assignment of *true* to GER as well, which in turn forces the assignment of *false* to variable USA. Therefore the positive edge of the NAVI-nodes is labeled with $-USA + GER$. This decreases the overall size of the BDD significantly.

5 An Editor for Mappings

Based on the visualization techniques presented in Sect. 3 and Sect. 4 we implemented a tool to draw diagrams based on configuration formulæ. The resulting graph is interactive and can be manipulated in order to fix problems like the ones depicted in Fig. 5 and Fig. 6. The corrected graph can be translated back into Boolean formulæ. For example the formula φ_{80} can be extracted from Fig. 5 as follows:

1. For each terminal containing "80" find all paths to the root. Each path represents an assignment. In Fig. 5 there are five such paths. They are denoted by $\psi_1, \psi_2, \psi_3, \psi_4, \psi_5$. For example the leftmost path is $\psi_1 = CAM \wedge NAVI \wedge GER \wedge \neg USA$.
2. The formula φ_{80} is the disjunction of these assignments.
   $\varphi_{80} = \psi_1 \vee \psi_2 \vee \psi_3 \vee \psi_4 \vee \psi_5 = (CAM \wedge NAVI \wedge GER \wedge \neg USA) \vee \psi_2 \vee \psi_3 \vee \psi_4 \vee \psi_5$

With this technique all underlying formulæ can be computed from a BDD and drawing a BDD based on the extracted formulæ reproduces the original BDD since BDDs are a canonical representation of a formula.

6 Conclusion

We have shown how Boolean formulæ are used in automotive product documentation. In Chapter 3 we demonstrated how traditional visualization methods fail to make error checking easy for human documentarists. We presented our approach to visualize multiple related formulæ in a single diagram and showed how the visualization helps to make parts selection rules including their bugs transparent and understandable for a human. In Chapter 4 we also showed how our approach deals with restrictions to the space of variations and how they even help to make diagrams smaller and more readable.

7 Future Work

We plan further research along the following lines:

- Test the existing method with real data in a larger case study.
- Develop algorithms to deal with complex high level configurations efficiently[6].
- Allow the introduction of self defined features[7] (shortcuts), which are expressed in terms of already existing features. Can they help to further decrease the size of the diagrams and increase readability?
- Additionally we are planning to evaluate the proposed method with practitioners. Our goal is to learn from the evaluation and to further improve our method, while already improving the data quality of the product configuration data.

References

[Ak78] Akers, S. B.: Binary decision diagrams. IEEE Trans. Computers 27/6, pp. 509–516, 1978.

[Ap13] Apel, S.; Batory, D.; Kästner, C.; Saake, G.: Feature-Oriented Software Product Lines. Springer, 2013.

[Ba05] Batory, D.: Feature models, grammars, and propositional formulas. In: International Conference on Software Product Lines. Springer, pp. 7–20, 2005.

[Ba93] Bahar, R. I.; Frohm, E. A.; Gaona, C. M.; Hachtel, G. D.; Macii, E.; Pardo, A.; Somenzi, F.: Algebraic decision diagrams and their applications. In: Computer-Aided Design, 1993. ICCAD-93. Digest of Technical Papers., 1993 IEEE/ACM International Conference on. IEEE, pp. 188–191, 1993.

[Br92] Bryant, R. E.: Symbolic Boolean manipulation with ordered binary-decision diagrams. ACM Computing Surveys (CSUR) 24/3, pp. 293–318, 1992.

[Cl93] Clarke, E. M.; McMillan, K. L.; Zhao, X.; Fujita, M.; Yang, J.: Spectral transforms for large boolean functions with applications to technology mapping. In: Proceedings of the 30th international Design Automation Conference. ACM, pp. 54–60, 1993.

[Ha98] Haag, A.: Sales configuration in business processes. IEEE Intelligent Systems and their Applications 13/4, pp. 78–85, 1998, ISSN: 1094-7167.

[HB05] Hami-Nobari, S.; Blessing, L.: Effect-oriented Description of Variant Rich Products. In: DS 35: Proceedings ICED 05, the 15th International Conference on Engineering Design, Melbourne, Australia, 15.-18.08. 2005. 2005.

[6] In this paper it was not yet discussed how to compute the labels shown in Fig. 6 due to the complexity of the matter.

[7] in contrary to the features defined by the HLC

[Kn09] Knuth, D.: The Art of Computer Programming: Bitwise Tricks & Techniques; Binary Decision Diagrams, volume 4, fascicle 1, 2009.

[KS00] Küchlin, W.; Sinz, C.: Proving consistency assertions for automotive product data management. Journal of Automated Reasoning 24/1, pp. 145–163, 2000.

[MC03] Mannion, M.; Camara, J.: Theorem proving for product line model verification. In: International Workshop on Software Product-Family Engineering. Springer, pp. 211–224, 2003.

[SKK03] Sinz, C.; Kaiser, A.; Küchlin, W.: Formal methods for the validation of automotive product configuration data. AI EDAM: Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing 17/01, pp. 75–97, 2003.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 1511

Identifikation von Fahrszenarien während einer virtuellen Testfahrt

Christian King[1], Johannes Bach[1], Stefan Otten[1] und Eric Sax[1]

Abstract: In den vergangenen Jahren adressierten zahlreiche Innovationen im Automobil den Bereich Fahrerassistenzsysteme. Die Technologien entwickeln sich zunehmend in Richtung automatisiertes Fahren und bringen eine Zunahme an intelligenten, verknüpften und komplexen Funktionen mit sich. Durch die direkte Interaktion des Ego-Fahrzeuges mit anderen Verkehrsteilnehmern entsteht eine Vielzahl neuartiger Fahrsituationen und Szenarien. Daraus resultiert ein konstant wachsender Raum an Systemzuständen und Variationen, der validiert und verifiziert werden muss. Um diesen Herausforderungen zu begegnen, wird zunehmend auf Virtualisierung und Simulation von gesetzt. In dieser Veröffentlichung stellen wir einen Ansatz vor, Szenarien innerhalb einer virtuellen Testfahrt zu identifizieren. Der Fokus liegt hierbei auf der Abstraktion und Ableitung spezifischer Manöver der einzelnen Fahrzeuge bzw. deren logischen Zusammenhänge in einem komplexen Szenario. Der Ansatz ermöglicht eine Analyse und die Bewertung vollständiger virtueller Testfahrten anhand der erlebten Szenarien. Zusätzlich können Aussagen in Bezug auf die Abdeckung des Systemraumes innerhalb einer virtuellen Testfahrt getroffen werden.

Keywords: Automatisiertes Fahren, FAS, Test, Virtualisierung Verifikation, Validierung, Szenarien, Situationen

1 Umfeld und Motivation

Automatisiertes Fahren und die zunehmende Elektrifizierung der Fahrzeuge führen zu neuen Herausforderungen im Bereich der Absicherung automatisierter Fahrerassistenzsysteme. Innovationen im Bereich von Sensorsystemen, hochpräzise Karten, Onlinedienste sowie der elektronische Horizont führen zu einer erweiterten Umfelderfassung in zukünftigen Fahrzeugen [BA17]. Zusätzlich resultieren die zunehmende Vernetzung der Fahrfunktionen und die daraus entstehenden Abhängigkeiten zu einer Vergrößerung des Variantenraums, der für eine ausreichende Absicherung abgedeckt werden muss. Um die Qualität und Sicherheit dieser neuen Fahrfunktionen durchgängig zu gewährleisten, sowie die notwendigen Testkilometer [HE15] reduzieren zu können, rücken verstärkt virtuelle Ansätze in den Fokus [WO16].

Aktuelle Testkonzepte basieren größtenteils auf systematischen Tests, die vorrangig synthetisch entwickelt und in Testkatalogen zusammengefasst werden [SAX08]. Diese etablierten Ansätze des spezifikationsbasierten Testens sind nicht mehr ausreichend, um

[1] FZI Forschungszentrum Informatik, Bereich ESS, Haid-und-Neu-Str, 76131, Karlsruhe, king@fzi.de, bach@fzi.de, otten@fzi.de, sax@fzi.de

doi:10.18420/in2017_150

den weiter zunehmenden Variantenraum an möglichen Fahrszenarien und Situationen abzudecken. Systematische Testfälle repräsentieren relevante Eckpunkte des Raums, welche notwendig sind um die korrekte Funktionalität für ausgewählte hochrelevante Situationen nachzuweisen. Um die Bereiche zwischen diesen Eckpunkten abzudecken, werden statistische Methoden für die Generierung von Fahrszenarien erforscht [SU15]. Durch die so eingeführte Zufälligkeit und Varianz ist der Zustand der Simulation nicht länger a-priori bekannt. Ein Vergleich der Simulationsergebnisse, für unterschiedliche Parametrisierungen des Testobjektes, benötigt daher komplexe Bewertungsmethoden. Hierbei stellt die Identifikation von Fahrszenarien eine große Herausforderung dar. Innerhalb einer kompletten Testfahrt müssen ausgewählte Szenarien für eine Evaluation identifiziert werden, um im nächsten Schritt relevante Funktionen und Systeme bewerten zu können.

2 Konzept für die Ableitung von Szenarien aus virtuellen Testfahrten

Im Rahmen dieses Ansatzes soll eine virtuelle Testfahrt ganzheitlich betrachtet werden. Dabei wird dem Ego-Fahrzeug während einer virtuellen Testfahrt lediglich der Start- und Endpunkt vorgegeben. Mit Hilfe eines Fahrermodells bewegt sich das Fahrzeug zwischen den vorgegebenen Wegpunkten, analog zu einer realen Testfahrt. Zu zufällig ausgewählten Zeitpunkten werden andere Verkehrsteilnehmer mit zufälligen Fahrmanövern eingespielt und so werden möglicherweise kritische Situationen und Szenarien herbeigeführt.

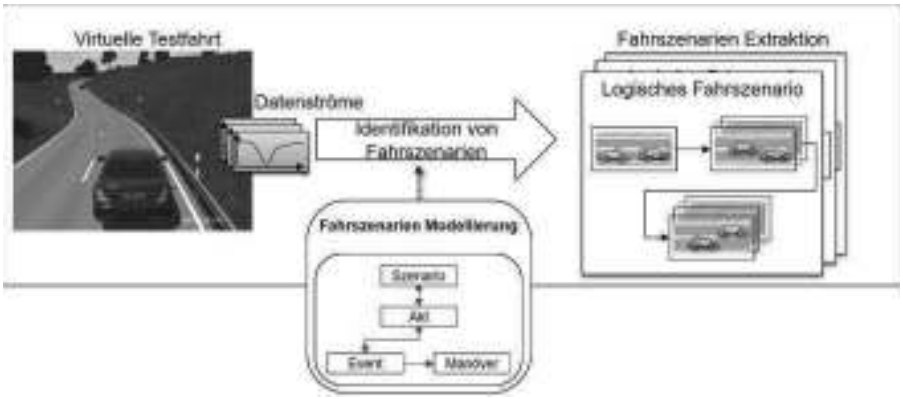


Abb 1. Konzeptskizze für die Identifikation von Fahrszenarien aus einer virtuellen Testfahrt

Der Fokus dieser Veröffentlichung liegt auf der Identifikation der einzelnen Fahrmanöver und Fahrszenarien in der virtuellen Testfahrt. Ansätze zur Modellierung von Szenarien für die Testfallgenerierung sind in [BA16] dargestellt und sind Grundlage für diese Arbeit. Die erkannten Szenarien werden für eine Bewertung der Testfahrt genutzt und bilden im

nächsten Schritt die Grundlage zur Ableitung von neuen, unbekannten Testfällen oder Anforderungen an die Funktion. Zusätzlich ist eine Aussage über die Testabdeckung der virtuellen Testfahrt möglich, da bekannt ist, welche Szenarien mit welcher Häufigkeit während der Testfahrt aufgetreten sind. In Abb 1 ist das vorgeschlagene Konzept dargestellt. Die Simulation stellt die Informationen in Form von kontinuierlichen Datenströmen zur Verfügung. Auf Grundlage dieser Daten sollen abstrakte Fahrszenarien und Manöver identifiziert und erkannt werden. Aus einer Testfahrt können zahlreiche logische Fahrszenarien abgeleitet werden. Logische Fahrszenarien beschreiben hierbei das grundsätzliche Verhalten des Ego-Fahrzeugs gemeinsam mit den anderen Verkehrsteilnehmern. Beispiele sind ein Auffahr- und Folgefahrt-Szenario oder ein Szenario mit einem Überholmanöver. Diese logischen Szenarien können innerhalb einer Testfahrt wiederum mehrfach instanziiert sein. Dabei unterscheiden sich die logisch gleichen Szenarien in der Parametrisierung und Lokalisierung ihrer Fahrmanöver. Beispielsweise kann ein Überholmanöver mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten und an verschiedenen Streckenpositionen durchgeführt werden. In Abb 1 ist ein Fahrzeug dargestellt, welches einen Überholvorgang durchführt. Die unterschiedlich parametrisierten Fahrmanöver werden durch verschieden gefärbte Kästen innerhalb des Szenarios repräsentiert.

2.1 Ableitung von Szenarien aus einer virtuellen Testfahrt

Die Simulation liefert alle verfügbaren Daten über die Verkehrsteilnehmer und die Umwelt. Um eine Aussage über das Fahrszenario zu ermöglichen, müssen große Mengen kontinuierlicher Daten reduziert und interpretiert werden. Fahrmanöver oder komplexe Interaktionen der Verkehrsteilnehmer können nur schwierig aus den reinen Geschwindigkeits- oder Positionsinformationen einzelner Fahrzeuge abgelesen werden. Dazu ist eine Abstraktion auf die jeweils relevanten Größen notwendig. Für diese Abstraktion sind verschiedene Ansätze denkbar. Eine Möglichkeit stellen Algorithmen des maschinellen Lernens dar, die nach einer Lernphase die Fahrszenarien selbstständig innerhalb einer virtuellen Testfahrt klassifizieren können. Der Einsatz von selbst-lernenden Methoden ist mit einem sehr hohen initialen Aufwand verknüpft. Neben der Auswahl der richtigen Netzstruktur und Netztiefe, spielt auch die Qualität der Lerndaten und der Lernalgorithmus eine entscheidende Rolle für die Qualität der Klassifizierung. Ein weiterer Ansatz ist ein wissensbasierter Ansatz und verwendet eine Meta-modellierung für die Ableitung der Fahrszenarien [BA16]. Für die Erkennung von Fahrmanövern und Szenarien müssen diese im Vorfeld mittels Modellierung abgebildet werden. Diese Modellierung dient während der virtuellen Testfahrt als Muster.

2.2 Modellierung von Fahrszenarien

Die Modellierung von Fahrszenarien ist im Fokus zahlreicher wissenschaftlicher Arbeiten. Das von [GU15] vorgeschlagene Konzepte erlaubt eine Modellierung von Interaktionen zwischen Teilnehmern. Geyer et al. [GE13] fokussiert sich auf ein Ontologie-Konzept für

die Generierung von Testfall- und Use-Case-Katalogen, das auf einer Theateranalogie basiert. Für diese Veröffentlichung wird die in [BA16] vorgestellte Metamodellierung verwendet. Bach et. al. schlagen darin einen modell-basierten Ansatz vor, der eine Abstraktion der beschriebenen Fahrszenarien bis auf die logische Ebene ermöglicht. In Anlehnung an den Ansatz von Geyer et al. [GE13] wird eine Terminologie aus dem Bereich Theater und Film verwendet. Der Ansatz basiert auf einem Domänenmodell zur Abbildung der relevanten Klassen für ein Fahrszenario sowie einem graphenbasierten Regelwerk. Eine zeitliche Abstraktion wird durch die Verwendung von Akten erreicht. Akte unterscheiden sich in den Fahrmanövern, die die Handlung und Zustände der Fahrzeuge beschreiben. Der Übergang zwischen zwei Akten wird durch ein Event ausgelöst. Neben der zeitlichen Abstraktion wird auch eine räumliche Abstraktion innerhalb eines Aktes durchgeführt. Diese bezieht sich weniger auf Lageinformationen, als vielmehr auf die logischen Relationen zwischen den Teilnehmern. Ein Auffahren und Folgefahrt Szenario lässt sich im einfachsten Fall mit drei Akten beschreiben. Im ersten Akt befinden sich die Teilnehmer T1 und T2 beispielsweise in der Freifahrt. Durch ein Event, unterschreiten eines spezifizierten Abstandes, findet der Übergang in den zweiten Akt statt. Das Handlung, beziehungsweise das Fahrmanöver, des zweiten Aktes, ist das Auffahren von T1 auf T2. Sobald die relative Geschwindigkeit kleiner als ein Grenzwert ist, findet der Übergang in den dritten Akt statt. Dieser Akt beinhaltet das Manöver Folgefahrt.

3 Anwendung und Evaluation

Für aktuelle Fahrerassistenzsysteme, wie Adaptive Cruise Control (ACC), ist das Szenario der Folgefahrt von hoher Relevanz. Daher soll exemplarisch eine Erkennung des Manövers „Folgefahrt“ dargestellt werden. In diesem Fall sollen alle Akte, in denen das Egofahrzeug das Manöver „Folgefahrt“ ausführt, identifiziert werden. Dafür wird das gesamte Szenario abstrahiert und im Anschluss nach den Akten mit dem Manöver Folgefahrt gesucht. Für die Erkennung von komplexeren Fahrmanövern wie dem Überholvorgang muss ein Muster als Sequenz von Akten eingebracht werden. In Abbildung 2 ist die Modellierung des Akts Folgefahrt dargestellt. Für den Übergang in den Akt und für das Verlassen sind Events definiert. Zusätzlich muss die Randbedingung erfüllt sein, dass sich die Nahbereiche (rote Kästen) der Fahrzeuge berühren. Während der Folgefahrt muss die relative Geschwindigkeit kleiner als ein Grenzwert dv sein. Daher dient diese Bedingung als Einstiegsevent. Um das Manöver zu wechseln und damit den Akt zu verlassen, muss die Bedingung an die relative Geschwindigkeit verletzt oder ein Spurwechsel von einem der Teilnehmer durchgeführt werden. Um den so modellierten Akt in einer virtuellen Testfahrt erkennen zu können, werden im ersten Schritt die verschiedenen Erfassungsbereiche des Ego-Fahrzeugs betrachtet.

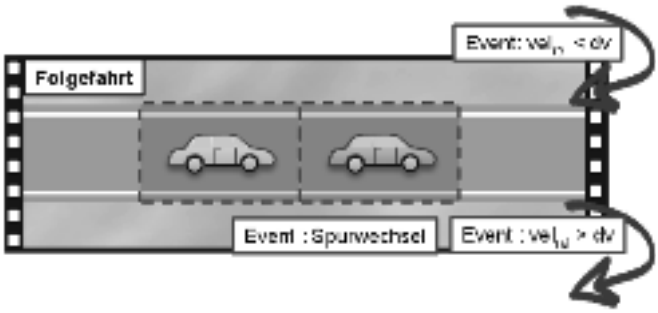


Abbildung 2: Modellierung des Akts mit dem Fahrmanöver Folgefahrt

Befindet sich ein vorausfahrendes Fahrzeug im Nahbereich, muss die relative Geschwindigkeit berechnet werden. Falls sie kleiner als ein definierter Schwellwert ist, wird das Fahrmanöver Folgefahrt erkannt ansonsten handelt es sich um ein anderes Fahrmanöver. Diese Berechnung wird zyklisch wiederholt. Die Frequenz der Berechnung ist abhängig von der benötigten Genauigkeit zur Abbildung der Fahr-manöverdynamik und der Zykluszeit der Fahrzeugsimulation. Aufgrund auftretender Geschwindigkeitsschwankungen werden eine Hysterese, sowie minimale Übergangszeiten für den Aktwechsel verwendet. Ansonsten führen Schwankungen in den Geschwindigkeitsverläufen zu wiederholt fehlerhaften Sprüngen zwischen verschiedenen Fahrmanövern und den zugehörigen Akten.

Für eine Umsetzung der Szenarienidentifikation mittels lernender Algorithmen wird eine Datenbank mit Fahrszenarien benötigt, die die entsprechenden Trainingsdaten beinhaltet. Beispielsweise stellen Support Vector Machines (SVM) als auch neuronale Netze eine interessante Option dar. Bei Letzteren sind die Anzahl verwendeter Schichten, die Anzahl der Eingangsneuronen, die Aktivierungsfunktionen und die Trainingsalgorithmen variabel. Sie hängen davon ab, auf Grundlage welcher Informationen das künstliche neuronale Netz die Entscheidung treffen soll. Die einzelnen Szenarien müssen für die Lernphase entsprechend gelabelt werden. Der zu erwartende initiale Aufwand für die Realisierung eines Ansatzes mit Methoden des maschinellen Lernens ist zunächst umfangreich, bietet in Verbindung mit der abstrakten Metamodellierung auf der logischen Ebene einen Mehrwert.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Der beschriebene Ansatz beschäftigt sich damit, wie eine virtuelle Testfahrt ganzheitlich betrachtet und bewertet werden kann. Die Notwendigkeit relevante Manöver, Akte und Szenarien innerhalb einer Testfahrt zu identifizieren, um beispielsweise die Funktionalität der Fahrerassistenzsysteme bewerten zu können oder neue, unbekannte Testfälle zu identifizieren, wurde herausgearbeitet. Verschiedene Ansätze zur Ableitung von Fahrszenarien sind dargestellt und eine logische Abstraktion, basierend auf modell-

basierten Beschreibungen sowie über selbstlernende Verfahren, diskutiert. Am Beispiel des Manövers „Folgefahrt“ wurde die Anwendung der logischen Abstraktion für die Identifikation von Testbedingungen in der virtuellen Testfahrt diskutiert.

Im nächsten Schritt erfolgt eine vollständige Modellierung und Anwendung verschiedener Fahrszenarien sowie der funktionale Nachweis des Ansatzes. Zusätzlich wird untersucht, inwieweit sich der Ansatz auch auf Realfahrten übertragen lässt. In diesem Zusammenhang wird untersucht, welche Daten verfügbar sein müssen um kritische Situationen auch im realen Straßenverkehr identifizieren und ableiten zu können.

References

[BA17] Bach, J., Otten, S., Sax, E., „ A Taxonomy and Systematic Approach for Automotive System Architectures: From Functional Chains to Functional Networks”, 3rd International Conference on Vehicle Technology and Intelligent Transport Systems (VEHITS), 2017.

[HE15] Helmer, T., et al., “Safety performance assessment of assisted and auto-mated driving by virtual experiments: Stochastic microscopic traffic simulation as knowledge synthesis,” IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC), 2015.

[WO16] Wohlfahrt, C., et al., „Von Systematischer Absicherung zur ‚Digitalen Erprobungsfahrt‘“, 6. Fachkonferenz AUTOTEST Stuttgart, 2016.

[SAX08] Sax, E., „Automatisiertes Testen Eingebetteter Systeme in der Automobilindustrie. München“, Carl Hanser Verlag, München Wien, 2008.

[SU15] Schulze, T., Müller, B., Meyer, G. , „ Advanced Microsystems for Automotive Applications 2015: Smart Systems for Green and Automated Driving”, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2015.

[BA16] Bach, J., Otten, S., Sax, E., „ A model-based scenario specification method to support development and test of automated driving functions”, IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV), 2016.

[GU15] C. Guo, K. Kidono, and Y. Kojima, “Understanding surrounding vehicles in urban traffic scenarios based on a low-cost lane graph,” in Intelligent Vehicles Symposium (IV), 2015 IEEE, June 2015, pp. 511–518..

[GE13] S. Geyer, M. Baltzer, B. Franz, S. Hakuli, M. Kauer, M. Kienle, S. Meier, T. Weißgerber, K. Bengler, R. Bruder, F. Flemisch, and H. Winner, “Concept and development of a unified ontology for generating test and use-case catalogues for assisted and automated vehicle guidance,” IET Intelligent Transport Systems, vol. 8, no. 3, pp. 183–189, 2013. [Online]. Available: http://tubiblio.ulb.tudarmstadt.de/62301/

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 1517

YellowCar: Automotive Multi-ECU Demonstrator Platform

Norbert Englisch[1], Owes Khan[1], Roland Mittag[1], Felix Hänchen[1], Ariane Heller[1] and Wolfram Hardt[1]

Abstract: Modern automotive industry develops software functionalities such as Advanced Driver Assistance Systems (ADAS) as software components, spread over several ECUs. Typical interconnection structure is a network, e.g. a CAN bus system. Up to date specifications and standards define operating system functions. During the development process, several questions such as functional test, performance evaluation, and optimization of software architecture for hardware independent implementation to enable reuse and standardization must be considered. For this reason, YellowCar has been developed as AUTSOAR based demonstration platform for evaluation of design methods and education of students in design methodology. Several applications demonstrate successfully YellowCar platform suitability.

Keywords: Automotive demonstrator platform**,** AUTOSAR, advanced driver assistance system development, evaluation of design methods, functional test

1 Introduction

YellowCar automotive Multi-ECU demonstrator platform has been developed as platform for functional tests, performance evaluation, and optimization of software architecture for hardware independent implementation. The platform is based on a miniature model of a car, well known from the market for kid´s toys. Battery based power infrastructure is provided as well as a network of actual three electronic control units (ECUs). These are connected via a CAN communication bus system. Several sensors have been added to the platform. Actors are a powertrain unit, which consists an electric motor which can move the car and a steering unit. Additionally, the platform has several lights that can be switched and a horn for acoustic signals.

All sensors have been connected to one single ECU, enabling it to act as a sensor ECU-node. Other ECUs have access to sensor data by reading the signals of sensor ECU from the communication bus. This specialized architecture enables the support of sensor data fusion. Other ECUs, connected to this communication bus implement functionalities to control the actors, e.g. MoveForward, Stop, SteerLeft, etc. By this open concept, new functionalities as well as additional ECUs can be added easily.

Considering that all sensor values and actor instructions are send via the communication bus debugging can be done easily by a bus interface like TinyCan. Thus, our demonstrator

[1] TU Chemnitz, Fakultät für Informatik, Straße der Nationen 62, 09111 Chemnitz, {enn | owes | mitro | haenf | aris | hardt}@cs.tu-chemnitz.de

doi:10.18420/in2017_151

builds a real world demonstrator for evaluation of academic approaches.

2 Requirements

For the YellowCar as an automotive Multi-ECU demonstrator platform we defined requirements similar to a modern car. Thus, YellowCar becomes a viable solution for evaluation of functionalities and design methods. The requirements cover the basic hardware and software architecture. Aspects of automotive sector`s digitalization have been considered. Every requirement will be referred by an YCR-"x", where x being the requirement number.

Hardware Architecture Requirements

The hardware requirements should support sensing of the environment as needed for ADAS-functionalities, network of several ECUs (Multi-ECU) and the ECUs themselves. These sensor related aspects can be fulfilled using **ultrasonic sensors (YCR-1)**, **camera (YCR-2)** and a **light sensor (YCR-3),** hence including a variety of sensing options. **CAN bus (YCR-4)** has been added as requirement since it is used widely in the automotive domain for ECU networks [Na00]. Such a bus system is very easy to implement and it is supported by most automotive ECUs. For the ECUs implementation we select **PowerPC (YCR-5)** as processor architecture.

All applications implemented on YellowCar automotive Multi-ECU demonstrator platform can rely on this hardware architecture features due to the specified requirements.

Software Architecture Requirements

For the software architecture we decided to choose the **AUTOSAR standard (YCR-6**) [AUT01], thereby setting it as a necessary requirement. In recent development strategies in the automotive industry as well as to latest research activities in test automation and evaluation where AUTOSAR is a widely used standard [KF09, En16]. **MISRA C (YCR-7)** [Ha04] as another requirement is met by compliance to the AUTOSAR software architecture. Well-developed tools like Matlab-Simulink [So16], dSPACE SystemDesk [DS01] can be used for implementation of applications on the YellowCar automotive Multi-ECU demonstrator platform. In this way, validation and testing of applications are easily achieved. It is also possible to test by modifying/designing architectural and behavioral aspects before implementing and realizing the actual application on YellowCar [So16]. Similar to a modern car essential applications are distributed to various ECUs of the demonstration platform.

3 Architecture

According to the specified requirements, we designed the YellowCar automotive Multi-

ECU demonstrator platform. The hardware architecture was defined and ECUs and sensors were mounted to the YellowCar chassis. The software architecture was defined also with respect to the requirements. Up to now, several applications have been implemented successfully.

3.1 Hardware Architecture

The YellowCar is controlled by three ECUs, as depicted in Fig. 1. Six ultrasonic sensors (YCR-1), a camera (YCR-2) and a light sensor (YCR-3) are connected to the I/Os of the ProcessingECU, reading the sensors data. The ProcessingECU converts all sensor data values to CAN messages and sends them to the standard CAN bus. The AssitantECU and the FeatureECU are connected to the same bus and implement the actor activation functionalities, e.g. MoveForward, Stop, SteerLeft, etc. The distance sensors, six ultrasonic sound sensors, three in the front and three in the back are activated one by one in a cyclic chain. This avoids activity of several sensors at the same time, so that they don't influence each other

For processing the hardware platform SPC560P50 from STMicroelectronics [So16] is used. It is based on a microcontroller with PowerPC-Architecture (requirement YCR-5). The electrical power supply is a 6V network separated from the power system of the powertrain. It is important to avoid interferences between both power systems.

For remote control of YellowCar, a server-client interface connecting the CAN bus with a network has been added. Therefore, a server was implemented on a netbook and connected to the CAN bus using the TinyCAN-Interface.

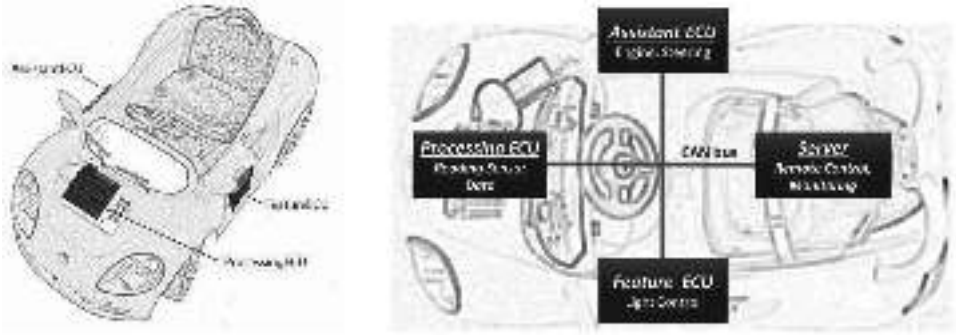


Fig. 1: Front and top view of YellowCar with ECUs and server

3.2 Software Architecture

All three integrated ECUs are realized by the system architecture AUTOSAR in version 3.1. Each ECU is separated into the horizontal layers basic software (operating system and

services), Runtime Environment (RTE) and Application Layer. The Elektrobit AutoCore and the tresos Studio are used for the configuration of the basic software and the generation of the RTE. The applications of the ECUs have been developed by the dSPACE SystemDesk and a C editor. Moreover, we have integrated Matlab/Simulink into the AUTOSAR tool chain. Main goal was to follow the recommended software structure of AUTOSAR beside the development of the applications in a reusable manner.

Especially the application of the FeatureECU contains the functionality of the light control. Our AUTOSAR compliant light control consists of more than fifteen LEDs, distributed to the car. The LEDs can be controlled by the light sensor and different action events, which are sent by the user interfaces through the server (see section 3.3). Beside the indicators and beam light, daytime light, underground, ambient interior light and puddle lights have been added. The light control was developed AUTOSAR compliant in SystemDesk (see Fig. 2) and tested in the Virtual Validation Platform (see [DHM12]) VEOS from dSPACE.

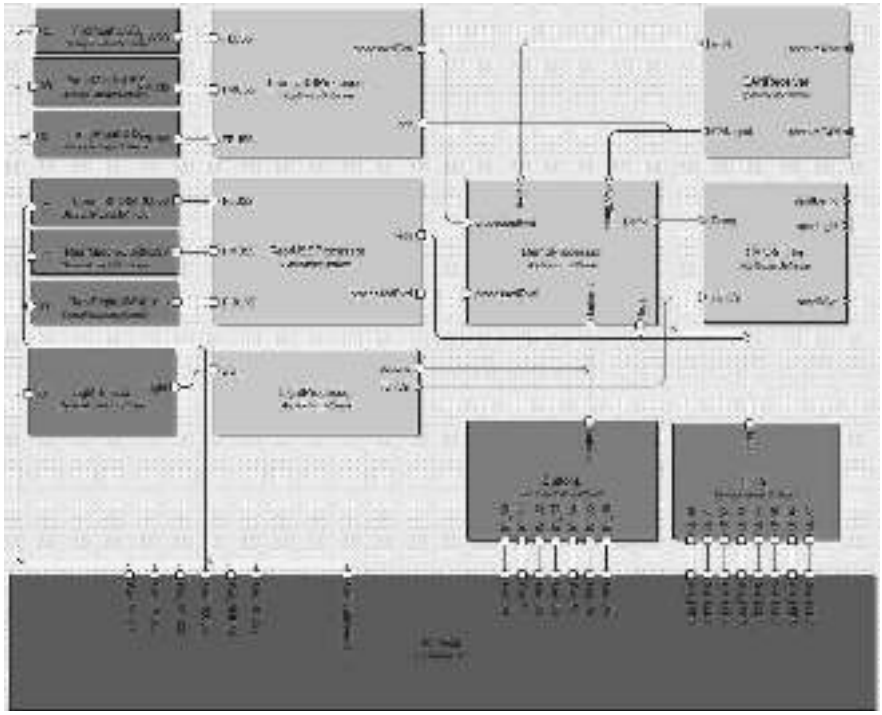


Fig. 2: Application layer diagram of light control application in AUTOSAR implemented for YellowCar

3.3 Web Interface

To enable the remote control, a server implemented in programming language C++ connects via the communication bus YellowCar with a network, like shown in Fig. 3. This server provides a webpage which represents a visualization of all sensor / control data values from the CAN bus. Moreover, by this webpage, users can remote control the YellowCar. Additionally, the same server sends data to a C# program to a configurable client, running a 3D simulation of YellowCar. This simulation represents a 3D model of the YellowCar, doing the same actions like the real car, based on the transmitted CAN messages to the server.

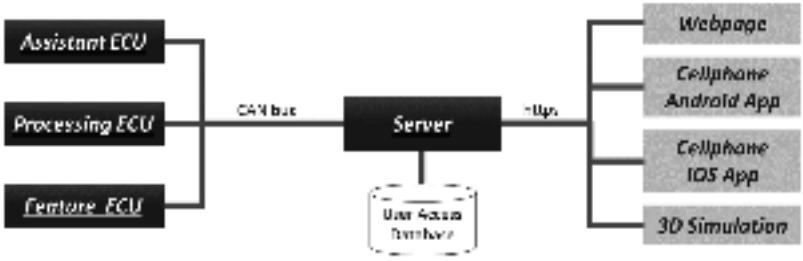


Fig. 3: Web based control, Apps and 3D Simulation of YellowCar

4 Results

As followed, we name three application examples that have been implemented on our YellowCar automotive Multi-ECU demonstrator platform. The implementations meet various pre-defined requirements. **Light Control (LC-App):** Based on light sensor data and manual inputs through web interface/switches, the LC-App controls the lights of the YellowCar. LC-App meets the requirements YCR-3, YCR-4, YCR-5, YCR-6 and YCR-7. The Feature-ECU implements this application. The Processing-ECU, to which all the sensors are connected, informs the Feature-ECU via CAN bus. **Traffic Sign Detection (TSD-App):** The YellowCar, while driving, automatically detects various road signs. The camera sensor provides raw data, preprocessing implements traffic sign detection and traffic sign recognition. CAN messages give this information to the Assistant-ECU. E.g. when a stop sign is detected and recognized, the engine-stop-message is sent. The requirements YCR-2, YCR-4 and YCR-7 have been met here. **Obstacle detection (OTD-App):** The Processing ECU detects any obstacle on the driving way of YellowCar. The ultrasonic sensors detect obstacles. OTP-App meets requirements YCR-1, YCR-4, YCR-5, YCR-6 and YCR-7. With respect to the detection, Assistant-ECU implements typical parking-assistance behavior.

Based on the presented application from the automotive domain, research approaches have been evaluated and improved. For example, the semi-automated and application specific test case generation and test execution for AUTOSAR basic software and RTE [En15] and

an approach for static analysis [SL10, En16] of AUTOSAR configurations and source code are successfully evaluated.

5 Conclusion

The automotive demonstrator YellowCar is a research platform with similar behavioral and architectural properties as compared to a modern real world car in E/E context at the Technische Universität Chemnitz. The platform supports easy extension of integration and implementation of new upcoming applications realized on automotive standards like MISRA C and AUTOSAR. Moreover, the YellowCar builds a perfect base for checking automotive academic approaches for real world applications, especially in the area of automated test case generation, for the demonstration of which several applications have been implemented.

References

[AUT01] AUTOSAR, Layered Software Architecture; Date: 26.06.2017: http://www.autosar.org/fileadmin/files/standards/classic/4-2/software-architecture/general/auxiliary/AUTOSAR_EXP_LayeredSoftwareArchitecture.pdf.

[SL10] A. Spillner, T. Linz and H. Schaefer: Software Testing Foundations: A Study Guide for the Certified Tester Exam, Rocky Nook, 2014, ISBN 978-1937538422.

[KF09] O. Kindel und M. Friedrich: Softwareentwicklung mit AUTOSAR: Grundlagen, Engineering, Management in der Praxis, dpunkt Verlag, 2009, ISBN 978-3898645638.

[En15] N. Englisch et al.: Application-Driven Evaluation of AUTOSAR Basic Software on Modern ECUs; Proceedings of the 13th IEEE/IFIP International Conference on Embedded and Ubiquitous Computing, 2015. ISBN: 978-1-4673-8299-1.

[En16] N. Englisch et al.: Efficiently Testing AUTOSAR Software Based on an Automatically Generated Knowledge Base; 7th Conference on Simulation and Testing for Vehicle Technology; Springer International Publishing, 2016; ISBN: 978-3-319-32344-2.

[Na00] M. Di Natale: Scheduling the CAN bus with earliest deadline techniques, 21st IEEE Proceedings of Real-Time Systems Symposium, 2000.

[So16] Soltani, Saeed: Dynamic Architectural Simulation Model of YellowCar in MATLAB/Simulink Using AUTOSAR System, 2016.

[DS01] dSPACE SystemDesk Product page; Date: 26.06.2017: https://www.dspace.com/de/gmb/home/products/sw/system_architecture_software/systemdesk.cfm.

[Ha04] L. Hatton: Safer language subsets: an overview and a case history, MISRA C, Information and Software Technology (2004).

[DHM12] M. Deicke, W. Hardt and M. Martinus: Virtual Validation of ECU Software with Hardware Dependent Components Using an Abstraction Layer; Simulation und Test für die Automobilelektronik, 2012. ISBN: 978-3-8169-3121-8.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 1523

Towards an Expert System for Identifying and Reducing Unnecessary Complexity of IT Architectures

Kenny Wehling[1] Ina Schaefer[2]

Abstract: Over the course of time, IT architectures in business environments grow and often include a range of different architectural variants. This causes various redundancies and a high level of IT complexity leading to higher costs and increased effort for evolving and maintaining the entire IT landscape. In this paper, we propose a concept for a rule based system that analyzes the variability within IT architectures automatically and supports experts in identifying and reducing the architecture's complexity by eliminating unnecessary architectural variants.

Keywords: IT architecture; unnecessary IT complexity; unnecessary variability; expert system

1 Introduction

In many companies, IT architectures grow over years or even decades [Du12]. As developers often refrain from changing productive systems, arising requirements often lead to new solutions although architectural elements with a similar purpose already exist [Ha10]. Moreover, implementation of new technologies and integration of other software systems (i.e., after a company acquisition), as well as uncoordinated change initiatives seldom take into account the entire IT landscape, but only parts of it [Ah12, Ha10]. As a consequence, IT architectures often include a wide range of different architectural variants, which results in a high complexity level accompanied by increasing costs, a reduced adaptability and higher effort for evolving and maintaining the entire IT landscape [Ah12, Sc16]. To alleviate these problems, experts have to reduce unnecessary IT complexity which does not originate from business goals and requirements but f78rom unintended effects of evolving and maintaining IT architectures [Br87]. Although there are different approaches to measure IT complexity (i.e., [SM03, SWK13]), to the best of our knowledge, there is no approach to identify and reduce unnecessary IT complexity that is induced by unnecessary architectural variants. Hence, it is a tedious and time consuming challenge for experts to cope with grown IT architectures.

To solve these challenges, the goal of our approach is to automatically identify variants within IT architectures. Based on this, we propose a concept for an expert system that

[1] Volkswagen AG, Letterbox 011/1802, 38436 Wolfsburg, Germany, kenny.wehling@volkswagen.de
[2] TU Braunschweig, Muehlenpfordtstrasse 23, 38106 Braunschweig, Germany, i.schaefer@tu-braunschweig.de

doi:10.18420/in2017_152

derives recommendations for eliminating unnecessary architectural elements in order to support experts in identifying and reducing unnecessary IT complexity.

2 Background

For a better understanding of our approach, we provide further information on *IT architecture*, *IT complexity* and *expert system*. As we plan to realize an automatic analysis of architectural variants, we give a brief description of *variability mining*. This is a technique from the software product line (SPL) domain, which focuses on development of families of software systems with common and variying parts [PBvdL05].

IT Architecture: IT architectures are the logical organization of applications, data and infrastructure technologies [Ro03]. They can be described in form of abstract models by using architecture frameworks, such as *The Open Group Architecture Framework (TOGAF)*, which introduces different layers. The *application architecture (AA)* layer describes the structure and interaction of applications, the *data architecture (DA)* layer contains major types and sources of data and the *technology architecture (TA)* layer includes the logical and physical components of the infrastructure. These architectures are often modelled by means of different views representing architectural elements and their relations from various perspectives [Th11]. Our approach utilizes such view models and focuses on TAs and AAs.

IT Complexity: To determine the complexity of such architectures, several approaches have been devised. These available methods are categorized by the *complexity cube* [SZM14]. As our appoach focuses on eliminating unnecessary architectural variants, we take structural complexity into account and do not consider behavioral complexity. The following measurement of Schütz et al. fits our concept best and describes *complexity (C)* as the tuple of *numbers (N)* and *heterogeneity (H)* that can be measured for *things (T)* and *relations (R)*: $C_Y = (N_Y, H_Y)$, with $Y \in \{T, R\}$. The number of elements can be determined by counting the considered artifacts within an architecture. To determine heterogeneity, the Entropy Measure (EM) has to be utilized [SWK13].

Variability Mining: In the context of the SPL domain, *variability* can be described as the choice of different artifacts for a specific purpose with a particular relation to other variants [PBvdL05]. Mining techniques can be utilized to identify such variability and different *variability relations* between a set of related artifacts. These relations show *mandatory* parts (i.e., common to all variants), *alternative* parts (i.e., mutually exclusive across variants), and *optional* parts (i.e., only part of certain variants). This variability information can be stored in *150% models* [RC12, Wi16] comprising all analyzed artifacts, their variabiliy relations and which variants they originate from.

Expert System: As part of artificial intelligence in computer science, expert systems simulate the reasoning and conclusions of human experts based on their domain knowledge and experience within a specific problem domain. Major components of an expert system

are the *knowledge base*, which includes domain knowledge in form of rules, the *working memory*, which contains problem specific facts, and the *inference engine*, which derives new information from the problem-specific facts by applying particular rules [Du02, SK93].

3 Concept

To identify and reduce complexity that is induced by unnecessary variability within related IT architectures, we propose the concept illustrated in Figure 1. It describes an analyzing and restructuring process by means of an expert system. This system utilizes manageable decision rules for general restructuring strategies and various analyzing techniques to provide users with reasonable suggestions for decision making in order to reduce structural complexity.

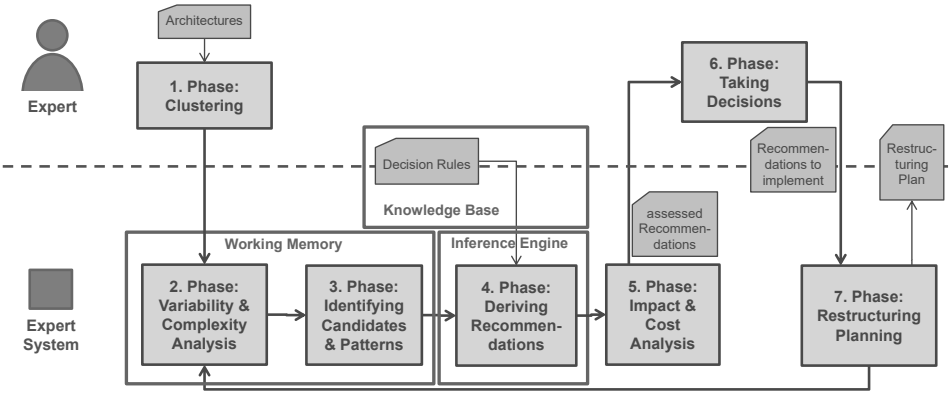


Fig. 1: Concept for Reducing Unnecessary Complexity of IT Architectures

The *first phase* focuses on clustering of the input data to build sets of related TAs or AAs with a similar purpose of use. This step has to be done manually as the purpose of use has to be determined by an expert for a business relevant view on the architectures, which requires business and domain knowledge. The *second phase* analyzes the variability and complexity within a given cluster of architectures. For this purpose, we adapt the variability mining technique from the SPL domain. Based on the resulting variability information, the *third phase* compares elements on the basis of their functional types and identifies all elements as candidates that might be part of unnecessary variability. Furthermore, it analyzes combinations of architectural elements to find frequently used patterns. The first three phases provide required data for the expert system in the working memory. In the *fourth phase*, the inference engine utilizes a decision method to derive recommendations for each candidate by applying decision rules from the knowledge base. These recommendations provide a first overview of necessary and unnecessary architectural elements within the regarded cluster. To use these recommendations for decision making, they have to be assessed in the *fifth phase*, which analyzes possible impacts of each recommendation on the variability

and complexity of the given cluster as well as cost benefits. In the *sixth phase*, experts decide which of the assessed recommendations will be implemented based on their domain knowledge. Finally, the *seventh phase* analyzes required restructuring operations for each architecture, such as *removing* or *replacing* of an artifact, to eliminate unnecessary elements in accordance with the expert decisions. A list of all required restructuring operations per architecture in appropriate order is given to the experts in form of a restructuring plan.

4 Progress and Evaluation

In [We16], we proposed a *first concept* for reducing IT complexity of related architectures by using variability information to identify standard variants. In [We17], we introduced a *manual approach* to support experts in identifying and reducing unnecessary IT complexity caused by architectural variants. It provides a manual variability analyzing technique for IT architectures and consists of a five step decision process, which covers the 1st, 2nd, 3rd, 6th, and 7th phase of our concept (cf. section 3). The priority goal was to analyze the feasibility of our approach for reducing IT complexity by identifying and removing unnecessary variability. By means of a case study, we showed that our approach is feasable for clusters of architectures (A, B, C) with different variability levels (low, medium, high). As seen in Table 1, we were able to reduce the complexity of regarded clusters by eliminating unnecessary architectural variants. We reduced the number of different artifacts (N) within a cluster by at least -20% as well as their heterogeneity (H) by at least -23%. On an avarage, we were able to reduce N by -24% and H by -30%. The case study also revealed that our approach requires significant manual effort and only scales by means of an automated solution. Thus, our major goal is to automate our approach as illustrated in section 3.

	N_1	H_1	N_2	H_2	ΔN	ΔH
A) Low Variability	5	0.398	4	0.231	-1 (-20%)	-0.167 (-42%)
B) Medium Variability	7	0.778	5	0.455	-2 (-29%)	-0.323 (-42%)
C) High Variability	13	1.292	10	1.031	-3 (-23%)	-0.261 (-23%)
Total	**25**	**0.823**	**19**	**0.572**	**-6 (-24%)**	**-0.251 (-30%)**

N = number *H* = heterogeneity *1/2* = before/after restructuring

Tab. 1: Case Study Results [We17]

Currently, we are working on the automation of the 2nd, 3rd and 4th phase of our concept (cf. section 3). We design and develop appropriate algorithms for the automatic variability analysis, the identification of candidates, the pattern analysis and the derivation of recommendations. For this purpose, we utilize and adapt concepts of variability mining and rule-based expert systems. In collaboration with domain experts, we devise suitable decision rules. To evaluate correctness of our automatic approach, we will conduct expert interviews. We also plan to automate the 5th and the 7th phase of our concept. The focus of the 5th phase will be the assessment of each recommendation by a metric that involves the results of an impact analysis and a cost-benefit-analysis. To identify the particular

impact of a recommendation, we have to consider the variability and complexity of the regarded cluster after its implementation. For the cost-benefit-analysis we take into account restructuring costs as well as cost benefits after restructuring. The emphasis of the 7th phase is the restructuring of the architectures in regarded cluster. We have to devise algorithm to identify required operations and to put them in a reasonable order. We plan to realize both phases by utilizing and adapting delta analysis techniques from the SPL domain [Sc10]. To evaluate correctness, scalability and runtime of our approach, we will conduct a case study on real-world scenarios from our industry partner with participation of experts.

5 Related Work

Schütz et al. [SWG13] propose a set of seven design principles for IT architectures which consider complexity and other aspects, such as end-user-acceptance and data quality. Although their definition of design principles is interesting for proactive development of standard artifacts, it does not consider variability within architectures. Schneider [Sc16] introduce a diversity framework for managing variability of TAs. It describes the variety, disparity, and balance of concepts as well as the variation of individuals. To determine these different aspects of diversity, the framework provides several definitions and single methods. Aleatrati Khosroshahi et al. [Al16] describe causes and consequences of application portfolio complexity. To reduce such complexity of AAs, they propose solution strategies driven by domain experts. While these approaches allow reasoning about different variability and complexity aspects of IT architectures, the authors do not provide methods or algorithms to analyze the variability of given architectures automatically. In contrast, our approach realizes an automated technique to identify variability of related architectures and to derive specific recommendations for restructuring to reduce the architecture's complexity.

6 Conclusion

Unnecessary variants within IT architectures lead to a high level of IT complexity, which results in increased costs and higher effort for evolving and maintaining the entire IT landscape. In this paper, we propose a concept for a rule-based expert system that is able to analyze the variability of related architectures automatically and to derive appropriate recommendations for experts to reduce IT complexity by eliminating unnecessary variants. The results from a case study show the feasibility of our manual approach and outline the need for an automatization. In future work, we plan to automate and to further evaluate our approach.

References

[Ah12] Ahlemann, Frederik; Stettiner, Eric; Messerschmidt, Marcus; Legner, Christine: Strategic Enterprise Architecture Management – Challenges, Best Practices, and Future Developments. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2012.

[Al16] Aleatrati Khosroshahi, Pouya; Beese, Jannis; Matthes, Florian; Winter, Robert: Causes and Consequences of Application Portfolio Complexity – An Exploratory Study. In (Horkoff, Jennifer; Jeusfeld, Manfred A.; Persson, Anne, eds): (PoEM 2016) The Practice of Enterprise Modeling. volume 267, Springer International Publishing, Cham, pp. 11–25, 2016.

[Br87] Brooks: No Silver Bullet Essence and Accidents of Software Engineering. Computer, 20(4):10–19, 1987.

[Du02] Durkin, John: Tools and Applications. In (Leondes, Cornelius T., ed.): Expert systems, pp. 23–53. Academic Press, San Diego, 2002.

[Du12] Durdik, Z.; Klatt, B.; Koziolek, H.; Krogmann, K.; Stammel, J.; Weiss, R.: Sustainability Guidelines for Long-Living Software Systems. In: Proc. of the Intl. Conference on Software Maintenance (ICSM). pp. 517–526, 2012.

[Ha10] Hanschke, Inge: Strategic IT Management – A Toolkit for Enterprise Architecture Management. Springer, 2010.

[PBvdL05] Pohl, Klaus; Böckle, Günter; van der Linden, Frank J.: Software Product Line Engineering: Foundations, Principles and Techniques. Springer, 2005.

[RC12] Rubin, Julia; Chechik, Marsha: Combining Related Products into Product Lines. In: Proc. of the Intl. Conference on Fundamental Approaches to Software Engineering (FASE). volume 7212 of Lecture Notes in Computer Science. Springer, pp. 285–300, 2012.

[Ro03] Ross, Jeanne W.: , Creating a Strategic IT Architecture Competency: Learning in Stages, 2003.

[Sc10] Schaefer, Ina; Bettini, Lorenzo; Bono, Viviana; Damiani, Ferruccio; Tanzarella, Nico: Delta-Oriented Programming of Software Product Lines. In: Software Product Lines: Going Beyond. Lecture Notes in Computer Science. Springer, pp. 77–91, 2010.

[Sc16] Schneider, Alexander W.: , Decision Support for Application Landscape Diversity Management, 2016.

[SK93] Smith, Suzanne; Kandel, Abraham: Verification and validation of rule-based expert systems. CRC Press, Boca Raton, Fla, 1993.

[SM03] Schneberger, Scott L.; McLean, Ephraim R.: The complexity cross. Communications of the ACM, 46(9):216–225, 2003.

[SWG13] Schütz, Alexander; Widjaja, Thomas; Gregory, Robert W.: Escape from Winchester Mansion - Toward a Set of Design Principles to Master Complexity in IT Architectures. In: (ICIS 2013) International Conference on Information Systems. pp. 1–19, 2013.

[SWK13] Schütz, Alexander; Widjaja, Thomas; Kaiser, Jasmin: Complexity In Enterprise Architectures – Conceptualization and Introduction of a Measure From a System Theoretic Perspective. In: (ECIS 2013) European Conference on Information Systems. pp. 1–12, 2013.

[SZM14] Schneider, Alexander W.; Zec, Martin; Matthes, Florian: Adpting Notions of Complexity for Enterprise Architecture Management. In: (AMCIS 2014) Americas Conference on Information Systems. pp. 1–10, 2014.

[Th11] The Open Group: TOGAF Version 9.1. Van Haren Publishing, 2011.

[We16] Wehling, Kenny; Wille, David; Pluchator, Martin; Schaefer, Ina: Towards Reducing the Complexity of Enterprise Architectures by Identifying Standard Variants Using Variability Mining. In: 1. Automobil Symposium Wildau. pp. 37 – 43, 2016.

[We17] Wehling, Kenny; Wille, David; Seidl, Christoph; Schaefer, Ina: Decision Support for Reducing Unnecessary IT Complexity of Application Architectures. In: 2nd International Workshop on decision Making in Software ARCHitecture (MARCH). 2017.

[Wi16] Wille, D.; Schulze, S.; Seidl, C.; Schaefer, I.: Custom-Tailored Variability Mining for Block-Based Languages. In: Proc. of the Intl. Conference on Software Analysis, Evolution, and Reengineering (SANER). volume 1. IEEE, pp. 271–282, 2016.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 1531

Entwicklungsunterstützende Analysen und Tests für AUTOSAR Systeme

Norbert Englisch[1] und Wolfram Hardt[1]

Abstract: Durch die Einführung des AUTOSAR Standards in der Automobilindustrie ist es möglich funktionsorientiert und hardwareunabhängig Software zu entwickeln und wieder zu verwenden. Realisiert wird das in AUTOSAR durch ein horizontales Schichtenmodell, welches die Bereiche Basissoftware, Runtime Environment und Applikation definiert. Durch diese klare Trennung hat sich eine Vielzahl von heterogenen Werkzeugketten mit unterschiedlich spezialisierten Produkten etabliert. Das führt zu neuen Herausforderungen in der Automobilindustrie, da die Softwarequalität und die Suche nach einer optimalen Konfiguration für ein Steuergerät nun immer wichtiger werden. Unser Ansatz bietet während der Entwicklung eines AUTOSAR Steuergerätes Unterstützung zur Sicherung der Softwarequalität und der Konformität zum Standard durch statische Analysen. Des Weiteren können semi-automatisch dynamische Tests generiert und auf der Zielplattform ausgeführt werden, um die Basissoftware und die Runtime Environment auf ihre Funktionstüchtigkeit zu überprüfen. Unser Ansatz greift auf AUTOSAR konforme Mechanismen zurück und ist versions- und herstellerunabhängig.

Keywords: AUTOSAR, Statische Analyse, Test

1 Einleitung

Die Systemarchitektur AUTOSAR (Automotive Open System Architecture) ermöglicht die Entwicklung der Applikation unabhängig von der Hardware. Realisiert wird das durch die horizontale Schichtenarchitektur, die das Steuergerät in Applikationsschicht, Runtime Environment (RTE) und Basissoftware unterteilt (siehe [AUT01]). Durch diesen Ansatz können funktionsorientierte Entwicklungen gespeichert und bei Bedarf durch Konfiguration vieler Parameter auf eine konkrete Hardwareplattform adaptiert werden [KF09]. Die Hersteller der eingesetzten Werkzeuge für die Basissoftware oder die RTE können dabei unterschiedlich zum Hersteller des Werkzeugs für die Applikationsschicht sein. Die somit heterogenen Werkzeugketten stellen in der Automobilindustrie große Herausforderungen dar. Sowohl im Bereich der statischen Analysen (siehe [SL10]) als auch im dynamischen Test sollen unabhängig vom Hersteller bzw. der eingesetzten Werkzeuge Analysen und Tests zur Absicherung der Funktionalität und zur Qualitätssicherung durchgeführt werden und immer vergleichbare Ergebnisse liefern. Des Weiteren stellen sich Entwickler häufig die Frage, ob eine Konfiguration eines AUTOSAR Systems für den konkreten Anwendungsfall geeignet oder für

[1] TU Chemnitz, Fakultät für Informatik, Straße der Nationen 62, 09111 Chemnitz, {enn | hardt}@cs.tu-chemnitz.de

doi:10.18420/in2017_153

unterschiedliche Schwerpunkte optimal ist.

Dieser Beitrag präsentiert einen AUTOSAR versions- und herstellerunabhängigen Ansatz, der es ermöglicht durch Analysen von Quellcode und AUTOSAR Konfigurationen die Softwarequalität sicher zu stellen. Des Weiteren werden generierte applikationsspezifische Tests für die Basissoftware und die RTE auf dem Steuergerät zur Laufzeit ausgeführt. Unser Ansatz basiert auf einer AUTOSAR Wissensbasis, die hersteller- und versionsspezifisches Wissen enthält. Die Analyse und der dynamische Test greifen auf das Wissen in einer generierten AUTOSAR Wissensbasis zu.

2 Stand der Technik

Für den Bereich des Busseitigen Tests von Steuergeräten gibt es eine Vielzahl von kommerziellen Tools, die über die Jahre perfektioniert wurden und in einem hohen Automatisierungsgrad in der Industrie eingesetzt werden. Auch im Bereich der statischen Analyse von Quellcode gibt es eine Vielzahl von etablierten Werkzeugen. Jedoch fehlt in beiden Bereichen die genaue Ausrichtung auf die Systemarchitektur AUTOSAR.

Die statische Analyse wird in der Softwareentwicklung vor allem automatisiert durch Werkzeuge wie SPLINT durchgeführt. Dadurch kann der Quellcode und dessen Komplexität selbst detailliert analysiert werden. Jedoch gibt es keine konkrete Adaption in das AUTOSAR Umfeld. Einige Werkzeughersteller bieten Überprüfungen innerhalb ihr Entwicklungsumgebungen an, jedoch sind diese meist nicht herstellerunabhängig und nur selten werden Quellcode und Konfiguration zusammen geprüft.

Im Bereichen des dynamischen Tests für AUTOSAR Systeme wurde das XCP (Universal Measurement and Calibration Protocol) [XC01] eingeführt, was es durch zusätzliche Konfiguration und Hook Funktionen ermöglicht lesenden und schreibenden Zugriff in ein AUTOSAR System zur Laufzeit zu haben. Jedoch ist die XCP Umsetzung erst ab AUTOSAR 4.0 offiziell spezifiziert, allerdings nicht für jede Hardwareplattform erhältlich. Des Weiteren ist der zusätzliche Konfigurationsaufwand für die XCP Einstellung nicht zu vernachlässigen. Ähnlich ist auch der Ansatz [FG01], der innerhalb der AUTOSAR Basissoftware Log- und Tracemöglichkeiten bietet.

3 Unterstützung bei der Entwicklung von AUTOSAR Systemen

Für den Zeitraum der Implementierung und der Entwicklung der Softwarearchitektur bietet unser Ansatz spezielle statische Analysen. Hierbei werden der Quellcode und die Konfiguration auf Konsistenz untereinander, sowie auf AUTOSAR Konformität geprüft. Ziel dabei ist es, dass versions- und herstellerunabhängig eine hohe Softwarequalität garantiert werden kann. Die realisierten Analysen können auch Korrekturvorschläge umsetzen, um Fehler zu korrigieren.

3.1 Voraussetzungen

Für die Umsetzung des vorgestellten Konzepts werden vor allem die Konfigurationsdateien und der Quellcode aller AUTOSAR Schichten bzw. deren Softwaremodule benötigt. Auch die Daten für die Hardwareplattform, des Basissoftware Herstellers und der AUTOSAR Version sind in der AUTOSAR Wissensbasis notwendig. Es müssen also folgende Daten für unseren Ansatz vorhanden sein:

- Quellcode und Konfigurationen der Basissoftware und RTE, sowie die Systembeschreibung der Applikation.
- Die AUTOSAR Toolkette inklusive Hardware für den dynamischen Test.

3.2 Workflow

Der Ablauf für entwicklungsbegleitende Analysen und Tests von AUTOSAR Systemen ist in Abb. 1 zu sehen. Als Grundlage für den Ansatz dient ein AUTOSAR Projekt, mit Quellcode und Konfigurationen (AUTOSAR spezifisch und herstellerspezifisch). Diese bilden die Grundlage für die statischen Analysen, welche für die horizontalen Schichten typisiert sind. Sofern die statischen Analysen keine Abbruchkriterien liefern (Syntaxfehler, illegale Aufrufe, …), kann der dynamische Test begonnen werden.

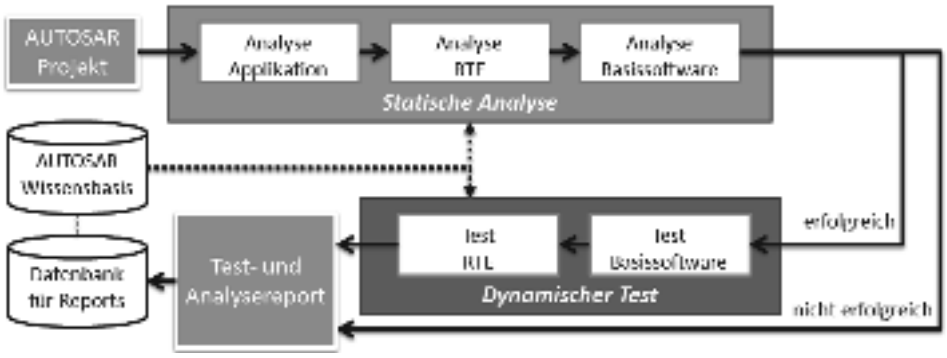


Abb. 1: Workflow für die statische Analyse und den dynamischen Test von AUTOSAR Systemen

3.3 Ablauf der statischen Analyse für AUTOSAR Systeme

Die statischen Analysen werden spezifisch für eine konkrete AUTOSAR Schicht realisiert (siehe Abb. 1). Dabei werden von einem AUTOSAR Projekt sowohl der Quellcode, die von AUTOSAR standardisierte Formate, sowie auch herstellerspezifische Konfigurationsdateien ausgewertet. Zum einen werden die Dateien auf Konformität zum AUTOSAR Standard überprüft, zum anderen wird der Quellcode auf Konsistenz zu den vorliegenden Konfigurationen überprüft. So können zum Beispiel Aufrufe zwischen

Softwarekomponenten, die nicht die RTE zur Kommunikation verwenden, entdeckt werden. Die AUTOSAR Wissensbasis wird bei den statischen Analysen unter anderem für gültige Konfigurationen sowie erlaubte Aufrufe und Kommunikationswege verwendet. Eine detaillierte Beschreibung mit Beispielen für die Analyse kann in [En16] nachgelesen werden.



Abb. 2: Ablauf von statischen Analysen mit Korrekturen für AUTOSAR Systeme

Statische Analysen können im vorgestellten Ansatz optional Korrekturvorschläge enthalten, wie in Abb. 2 dargestellt. So können zum Beispiel offensichtlich nicht verbundene und zueinander passende Kommunikationsverbindungen mit einander verbunden werden. Werden Korrekturen durchgeführt soll die Analyse über das Projekt mit seiner Änderung nochmal ausgeführt werden. Des Weiteren geben die statischen Analysen Statistiken an den Tester aus, die dazu dienen können die Softwarequalität eines Projektes einzuschätzen. Zu den Statistiken gehören Anzahl an Codezeilen, Kommentarzeilen und Leerzeilen, Anzahl pro Runnables pro Betriebssystem Tasks, etc.

3.4 Ablauf des dynamischen Tests für AUTOSAR Systeme

Die dynamischen Tests basieren zum einen auf der Testfallgenerierung und zum anderen auf der Testmodulgenerierung. Bei der Testfallgenerierung werden auf Basis der applikationsspezifischen Konfiguration des AUTOSAR Steuergerätes Testfälle für die Basissoftwaremodule und die RTE erzeugt. Diese werden im zweiten Schritt in ein Testmodul (C Quellcode und Konfiguration) gewandelt, das als Complex Device Driver Modul in das AUTOSAR Steuergerät integriert wird. Beim Test der Basissoftware werden die Testobjekte mit den Testdaten auf dem Steuergerät stimuliert und die Ergebnisse auch direkt im Testmodul ausgewertet. Eine besondere Abfolge stellt das Testen von Stacks in der Basissoftware dar. Beim Kommunikationsstack wird zunächst ein einzelnes Modul (z.B. CAN Treiber) überprüft. Ist dieser Test erfolgreich wird das Testobjekt mit dem im Stack folgenden Modul (z.B. CAN Interface) erweitert und mit demselben Testfall stimuliert. Danach wird das Testobjekt mit dem wiederum folgenden Modul, (z.B. dem PDUR) erweitert. Dieser Prozess wird solange durchgeführt, bis das Testobjekt den gesamten Stack beinhaltet. Genauere Details können in [En15] nachgelesen werden.

In Abb. 3 ist der Aufbau des dynamischen Tests zu sehen. Auf der linken Seite des Bildes ist das AUTOSAR Steuergerät mit dem erzeugten Testmodul zu sehen, wo es die Basissoftware und die RTE im Steuergerät überprüft. Des Weiteren ist auf der rechten Seite des Bildes ein Test PC sichtbar, auf dem die Testfallgenerierung und die

Testmodulerzeugung ausgeführt wird. Während der Testdurchführung kommunizieren das Testmodul und die ebenfalls generierte Teststeuerung auf dem Test PC miteinander. Darum ist die Synchronisierung beider Teilnehmer sehr wichtig [En15].

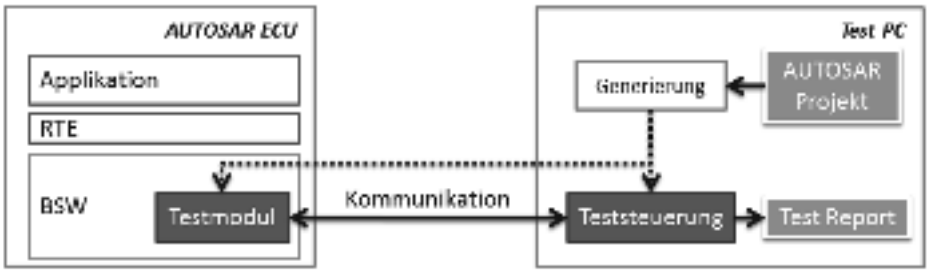


Abb. 3:Ablauf des dynamischen Tests für AUTOSAR Systeme

4 Umsetzung

Der vorgestellte Ansatz wurde als modulares System in der Programmiersprache C# realisiert. Die AUTOSAR Wissensbasis ist integriert und enthält aktuell Einträge zu den AUTOSAR Versionen 2.1, 3.1 sowie 4.1. Eine Sequenz, bestehend aus Analyse- und Testmodulen, kann definiert und schrittweise für ein AUTOSAR Projekt ausgeführt werden. Jedes der Module kann eine Menge an Analyse- bzw. Testergebnissen zurückliefern. Diese Ergebnisse werden als Analyse- und Testreport dargestellt und in einer Datenbank abgespeichert. Eine Besonderheit stellt dabei das Speichern einer Testobjekt ID zu jedem einzelnen Analyse- und Testergebnis dar, wie in Abb. 4 exemplarisch dargestellt. Eine solche ID referenziert einen Eintrag in der AUTOSAR Wissensbasis. Ein referenziertes Testobjekt kann zum Beispiel ein einzelnes Basissoftwaremodul oder ein gesamter Stack sein. Da diese ID über verschiedene AUTOSAR Versionen und Produkte identisch ist, können so Ergebnisse aus verschiedenen Zeitpunkten (im Bild als t_1 und t_2 markiert) einfach verglichen werden.

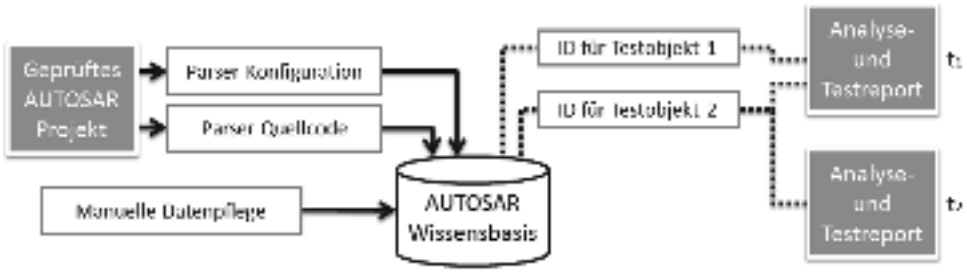


Abb. 4: AUTOSAR Wissensbasis liefert IDs für Testobjekte in Analyse- und Testreports

Die AUTOSAR Wissensbasis wird hauptsächlich durch eigens dafür implementierte Parser mit Daten befüllt. Diese Parser extrahieren Daten aus geprüften und als korrekt

definierte Projekte. Als Grundlage können neben Quellecode auch AUTOSAR konforme Formate, sowie firmenspezifische, lesbare Dateien dienen. Zusätzlich kann die Wissensbasis auch manuell mit Daten befüllt werden. Natürlich ist das Befüllen der Wissensbasis kritisch zu betrachten, da durch falsche oder fehlerhafte Daten nicht korrekte Testfälle und Sollwerte für ein AUTOSAR Projekt erstellt werden können. Darum muss mit diesem Prozess besondere Sorgfalt zugestanden werden.

5 Zusammenfassung

Der hier vorgestellte Ansatz zeigt einen Weg auf, wie die Entwicklung von AUTOSAR Systemen in der Automobilindustrie unterstützt werden kann. Die Unterstützung umfasst einerseits statische Analysen, die die AUTOSAR Konformität und Korrektheit zwischen Quellcode und Konfiguration überprüfen. Andererseits können dynamische Tests auf dem Steuergerät selbst durchgeführt werden, die über ein semi-automatisiert generiertes Testmodul die Basissoftware und die RTE auf applikationsspezifische Korrektheit überprüfen. Diese dynamischen Tests sind AUTOSAR konform und werden, wie auch die statischen Analysen, mit Hilfe einer AUTOSAR Wissensbasis erstellt.

Literaturverzeichnis

[AUT01] AUTOSAR, Layered Software Architecture, http://www.autosar.org/fileadmin/files/standards/classic/4-2/software-architecture/general/auxiliary/AUTOSAR_EXP_LayeredSoftwareArchitecture.pdf Stand: 26.06.2017.

[XC01] ASAM MCD-1 XCP V1.2.0: Webseite XCP Spezifikation, http://www.asam.net/nc/de/home/standards/standard-detail.html?tx_rbwbmasamstandards_pi1[showUid]=2801&start=, Stand: 26.06.2017.

[SL10] A. Spillner und T. Linz: Basiswissen Softwaretest; Aus und Weiterbildung zum Certied Tester; dpunkt Verlag, 2010, ISBN 987-3-89864-642-0.

[FG01] Fraunhofer-Gesellschaft: AUTOSAR-Standardisierung für Log- und Trace-Funktion, http://www.esk.fraunhofer.de/de/projekte/LoT.html, Stand: 26.06.2017.

[KF09] O. Kindel und M. Friedrich: Softwareentwicklung mit AUTOSAR: Grundlagen, Engineering, Management in der Praxis; dpunkt Verlag, 2009, ISBN 978-3898645638.

[En15] N. Englisch, F. Hänchen, F. Ullmann, A. Masrur und W. Hardt: Application-Driven Evaluation of AUTOSAR Basic Software on Modern ECUs; Proceedings of the 13th IEEE/IFIP International Conference on Embedded and Ubiquitosus Computing (EUC), Seite 60 - 67, October 2015. ISBN: 978-1-4673-8299-1.

[En16] N. Englisch, R. Mittag, F. Hänchen, O. Khan, A. Masrur und W. Hardt: Efficiently Testing AUTOSAR Software Based on an Automatically Generated Knowledge Base; 7th Conference on Simulation and Testing for Vehicle Technology; Seite 87 – 97; Springer International Publishing, Mai 2016; ISBN: 978-3-319-32344-2.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 1537

Model-in-the-Loop and Software-in-the-Loop Testing of Closed-Loop Automotive Software with Arttest

Norman Hansen[1], Norbert Wiechowski[1], Alexander Kugler[1], Stefan Kowalewski[1], Thomas Rambow[2] and Rainer Busch[2]

Abstract: In this paper, we present Arttest, a tool for functional testing of block diagrams developed with MATLAB/Simulink. We introduce testing concepts for closed-loop tests of automotive software on model and software level, the integration of the concepts into a signal specification language and correspondent tool support. Furthermore, we show the applicability of the concepts and the test execution automation based on an example for model-in-the-loop and software-in-the-loop tests.

Keywords: Software Verification, Software Testing, MIL, SIL

1 Introduction

In the automotive industry, major innovations are nowadays driven by software[Br07]. Over the past years, functionality realized by software grew from basic headlight control to advanced systems, such as Active Brake Assist (ABA) and Electronic Stability Control (ESC), interacting with multiple sensors, actuators and other systems. Since software may directly influence the driving behavior by controlling actuators, e.g., brakes, software failures may result in damage to passengers and to the environment. To increase the safety of software controlled systems in the automotive domain, the ISO 26262[IS11] recommends extensive testing for safety critical software. In particular, testing safety critical software using the final hardware is highly recommended by the ISO 26262. However, removing a software failure in late development phases implicates high costs[Jo12]. In order to detect and remove software faults as early as possible in the development process and thus decrease costs, software can be tested on model level[BK08, La04].

When performing tests, the model of the System Under Test (SUT) is often tested in combination with a plant model, describing the behavior of the environment of the SUT[Wi17, Na04]. By feeding the signals from the plant model to the SUT and the outputs of the SUT to the plant model, a closed-loop system is created. For instance, the plant model

[1] Lehrstuhl Informatik 11 - Embedded Software, Ahornstraße 55, 52074 Aachen
[hansen, wiechowski, akugler, kowalewski]@embedded.rwth-aachen.de
[2] Ford Research and Innovation Center Aachen, Süsterfeldstraße 200, 52072 Aachen
[trambow, rbusch1]@ford.com

doi:10.18420/in2017_154

of an ESC system could model the behavior of a car for a specific driving scenario as shown in Figure 1.

Depending on the SUT and its complexity, all input signals might be connected and fed back to a plant model as shown in Figure 1. Consequently, there are no input signals to the closed-loop system which could be stimulated by tests. When performing Hardware-in-the-Loop (HIL) tests, signals of closed-loop systems generated by a plant model can be overridden with signals specified by a test engineer enabling the stimulation of the controller model and fault injection tests[Na04]. To enable similar tests in early development stages, i.e., on Model-in-the-Loop (MIL) and Software-in-the-Loop (SIL) level to save costs by early fault removal, we target the replacement of plant model signals by specified signals.

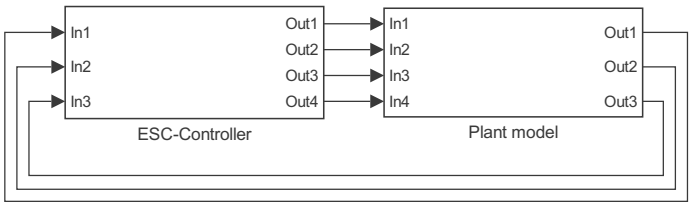


Fig. 1: Closed-loop system of an ESC controller with plant model

In Section 2, we present a signal specification language enabling closed-loop tests which may dynamically react to conditions being satisfied. In addition, the language enables arbitrary internal signals of the closed-loop model being tested to be overridden, e.g., for fault injection. The implementation of closed-loop tests using the presented specification language is supported by Arttest, a tool for the creation and automated execution of requirement based functional tests[Wi17]. In Section 3, we describe the test automation of MIL and SIL tests and present an application of the concepts using an example in Section 4. Related work is discussed in Section 5 while Section 6 concludes this work.

2 Signal Specification Language

To implement tests for closed-loop systems, a language is required which is able to express, that internal signals of a model are overridden with specified values for a given duration. Overriding internal signals may further be triggered by events, e.g., a condition containing signals of the model being satisfied. We designed a signal specification language with formal syntax and semantics that fulfills these requirements. The language is designed to resemble natural language so that tests can be easily understood, even without extensive prior knowledge of the language.

2.1 Syntax

A simplified excerpt of the language's grammar for a selection of basic language constructs used to describe signals is given in Table 1 using EBNF[Sc96] notation.

⟨*TC*⟩	=	⟨*actions*⟩
⟨*actions*⟩	=	{ ⟨*action*⟩ }
⟨*action*⟩	=	⟨*wait*⟩ | ⟨*setto*⟩ | ⟨*simultaneously*⟩ | ⟨*rampto*⟩ | ⟨*when*⟩ | ⟨*override*⟩
⟨*wait*⟩	=	"wait for"{⟨*number*⟩} "seconds "
⟨*signal*⟩	=	"<"⟨*string*⟩ ">"
⟨*setto*⟩	=	⟨*signal*⟩ "set to ["⟨*number*⟩ "]"
⟨*rampto*⟩	=	⟨*signal*⟩ "ramps to ["⟨*number*⟩ "] within {"⟨*number*⟩ "} seconds"
⟨*when*⟩	=	"when ["⟨*condition*⟩ "] during {"⟨*number*⟩ "} seconds ("⟨*actions*⟩ ")"
⟨*override*⟩	=	"override"⟨*signal*⟩ ("on"| "off")
⟨*condition*⟩	=	⟨*string*⟩

Tab. 1: Excerpt of the signal specification language grammar in EBNF

The signal specification language is organized in actions which compose a test case (TC). Table 1 shows the syntax for *wait*, *setto*, *rampto*, *when* and *override* actions. The non-terminal symbol ⟨*number*⟩ defines arbitrary integer or decimal values and the non-terminal symbol ⟨*string*⟩ is restricted to valid MATLAB expressions. The ⟨*condition*⟩ symbol allows the specification of conditions in MATLAB syntax, i.e., expressions evaluating to $true$ or $false$ including signal names or function calls to MATLAB functions. Signal names are restricted to valid MATLAB variable names. Based on the syntax, we define the formal semantics of the signal specification language.

2.2 Semantics

A specification of signals *spec* is a n-tupel of actions $a_1, ..., a_n$ with $a_{i,i\in\{1...n\}} \in \mathbb{A}$, $\mathbb{A}$ being the set of all actions and $n \in \mathbb{N}_{\geq 0}$. Actions can be classified in three categories, actions influencing signal values directly, e.g., by changing signal values, actions activating or deactivating the overriding of internal signals and actions which are hierarchically composed of other actions. Actions modifying signal values are for instance *setto* and *rampto* actions. *Override* actions are of the second category and *when* actions are hierarchically composed of other actions. A *when* action a_{when} may be hierarchically composed such that $child(a_{when}) : \mathbb{A} \rightarrow \mathbb{A}^m, m \in \mathbb{N}_{\geq 0}$. For instance, $child(a_{when}) = (' wait\ for\ \{2\}\ seconds',$ $' < signal_b >\ set\ to\ [4]')$ for *when* action a_{when} as given in Listing 1.

```
when [signal_a > 0] during {4} seconds then (
        wait for {2} seconds
        <signal_b> set to [4]
)
```

List. 1: Hierarchical composition of a *when* action

Consider τ to be the sampling time of the SUT and $\omega \in \mathbb{N}_{\geq 0}$ to be the number of time steps τ for the worst case duration of $spec$. Let $\mathbb{S}_{spec}$ be the set of signals $s : string \rightarrow \mathbb{R}^{\omega}$ defined by $spec$ and $signal(a) : \mathbb{A} \rightarrow \mathbb{S}$ the function as given in Table 2, defining the signals whose values are influenced by action a.

a	$signal(a)$
$< s >$ set to $[y]$	s
wait for $\{x\}$ seconds	$\emptyset$
$< s >$ ramps to $[y]$ within $\{x\}$ seconds	s
when $[cnd]$ during $\{x\}$ seconds $(a_1,...,a_m)$	$(signal(a_1), ..., signal(a_m))$
override $< s >$ on	s
override $< s >$ off	s

Tab. 2: Definition of $signal(a)$ with $a, a_i \in \mathbb{A}$ and $s \in \mathbb{S}_{spec}$

The function $start(a) : \mathbb{A} \rightarrow \mathbb{N}_{\geq 0}$ assigns a starting time to all actions a with $start(a_1) := 0$, a_1 first action of the specification and $start(a_i) = start(a_{i-1}) + length(a)$ for all actions of the same hierarchy level. If there is no preceding action a_{i-1} on the same hierarchy level, then $start(a_i) = \kappa + 1$, κ being the first sampling time satisfying the condition of the *when* action containing a_i.

Let $length(a) : \mathbb{A} \rightarrow \mathbb{N}_{\geq 0}$ be the function defining the length, in number of equidistant sampling points, of each action according to Table 3.

a	$length(a)$
$< s >$ set to $[y]$	0
wait for $\{x\}$ seconds	$\lceil \frac{x}{\tau} \rceil$
$< s >$ ramps to $[y]$ within $\{x\}$ seconds	$\lceil \frac{x}{\tau} \rceil$
when $[cnd]$ during $\{x\}$ seconds $(a_{w_1},...,a_{w_m})$	$\lceil \frac{x}{\tau} \rceil$ if $cnd \mid\!=_{start(a),start(a)+\lceil \frac{x}{\tau} \rceil} false$, else $\kappa - start(a) + \Sigma_{i=1}^{m} length(a_i)$
override $< s >$ on	0
override $< s >$ off	0

Tab. 3: Definition of $length(a)$ with $a \in \mathbb{A}$, $x, y \in \mathbb{R}$, $\kappa \in \mathbb{N}_{\geq 0}$ and $s \in \mathbb{S}_{spec}$

$\lceil value \rceil$ denotes the rounding of $value$ to the next value in $\mathbb{N}$ in direction of $+\infty$ if $value \notin \mathbb{N}$. $cnd \mid\!=_{b,e}$ with $b, e \in \mathbb{N}_{\geq 0}$ denotes the evaluation of cnd to either $false$ or $true$ within the time interval starting at sampling point b and ending at sampling point e such that $cnd \mid\!=_{b,e} true$ if $\exists k \in [b, e]$ $cnd(k) \mid= true$ with $\kappa = inf(\{k \in [b, e] | cnd(k) \mid= true\})$. For instance, assume the condition $cnd := signal_a + signal_b > 1$ with signal_a and signal_b sampled at rate 0.01 as shown in Figure 2. $a + b > 1 \mid\!=_{0,400} false$ since the sum of signal_a and signal_b is not greater than one for the first 400 sampling times. However, $a + b > 1 \mid\!=_{300,700} true$, since the sum of both signals is greater than one for at least one sampling point within the interval $[300; 700]$, with sampling point $\kappa = 600$ being the first sampling point causing condition cnd to be true.

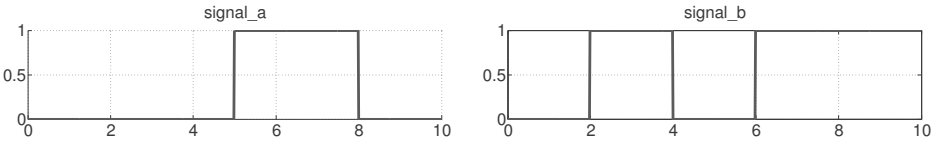


Fig. 2: Example for two signals *signal_a* and *signal_b* being used within a condition

a	$val(a)$
$< s >$ set to $[y]$	$s(start(a)) = y$
wait for $\{x\}$ seconds	$\forall s \in \mathbb{S}_{spec}, \forall i \in \{1, 2, ..., length(a)\}$, $s(start(a) + i) = s(start(a))$
$< s >$ ramps to $[y]$ within $\{x\}$ seconds	$\forall i \in \{1, 2, ...\lceil \frac{x}{\tau} \rceil\}$, $s(start(a) + i) = s(start(a)) + i * (\frac{y - s(start(a))}{length(a)})$ $\forall s' \in \mathbb{S}_{spec} \backslash \{s\}, \forall i \in \{1, 2, ..., length(a)\}$, $s'(start(a) + i) = s(start(a))$
when [cnd] during $\{x\}$ seconds $(a_1,...,a_m)$	if $cnd \mid =_{start(a), \lceil \frac{x}{\tau} \rceil}$ $true$ then $val('wait for\{' \tau * \kappa '\}') \circ val(child(a))$ κ being the sampling time satisfying cnd else $val('wait for\{'x'\}seconds')$

Tab. 4: Definition of $val(a)$ with $x, y \in \mathbb{R}$ and $s \in \mathbb{S}_{spec}$

As shown in Table 3, the length of *when* actions depends on whether and at which point in time the condition *cnd* is satisfied during the test execution. If the condition of a_{when} is never satisfied within the time interval $[start(a), start(a) + \lceil \frac{x}{\tau} \rceil]$, the child-actions $child(a_{when}) = (a_{w_1}, ..., a_{w_m})$ of a_{when} are not considered. Otherwise, the actions $(a_{w_1}, ..., a_{w_m})$ are interpreted sequentially with $start(a_{w_1})$ being the simulation time, denoted by $\kappa \in [start(a), start(a) + \lceil \frac{x}{\tau} \rceil]$ where *cnd* evaluates to $true$ for the first time. Consequently, the length of a test may vary depending on conditions being satisfied or not during test execution.

The semantics of signal specification $spec = (a_1, ..., a_n)$ is given by sequential application, denoted $\circ$, of valuation function $val(a)$ to the actions of $spec$, i.e., $val(spec) = val(a_1) \circ ... \circ val(a_n)$. Valuation function $val(a)$ is described in Table 4 for actions a having an influence on the specified signals of the test and $s(0) = 0, \forall s \in \mathbb{S}$, zero being the initial value for every signal s.

As Table 4 shows, there is no valuation influencing signal values for *override* actions. *Override* actions determine the time and duration when internal signals are to be overridden with the values specified by actions which influence the signal to be overridden and follow the action enabling the override. Switching from the simulated to the specified values for a signal s is triggered by the action $override < s > on$. When interpreting $override < s > off$, the test execution switches back to the simulated values of signal s.

We distinguish between two different signal categories, reference signals and stimulus signals. Reference signals are compared with simulated signals and based on the comparison results, a test either passes or fails. Thus, reference signals do not influence the simulation. In contrast, stimulus signals are fed into the model, either as direct inputs to a model or to override internal signals.The language enforces a strict differentiation between both categories and correspondent signal specifications by dividing the test into two sections as shown in Listing 2.

```
Test:
Step 1:
Step 2:

Acceptance:
Criterion 1:
Criterion 2:
```

List. 2: Sections for stimulus and reference signal specification

The first section is the *Test* section, structured into sequentially executed *Steps* which use the introduced language for stimulus signal specification. Note, that the *Step* keyword followed by an identifier is only a structural element and has no impact on the semantics of the presented signal specification.

The second section is the *Acceptance* section, structured into *Criterions* using the introduced language for reference signal specification. A *Criterion* matches exactly one *Step* with $start(a_{c1}) = start(a_{s1})$, a_{c1} being the first action of the *Criterion* and a_{s1} the first action of the matching *Step*. If a *Criterion* has a longer duration than the matched *Step*, the specified reference signals are cut to the length of the step. Using *when* actions, reference signals may be specified depending on occuring events. However, since reference signals influence only the acceptance of a test and not the test execution, *override* actions may not be used within *Criterions*.

3 Closed-Loop Test Automation with Arttest

Arttest is a stand-alone application created with the intent to ease and automate test related activities such as test specification, test execution and generation of a test report. Arttest tests are based on the language presented in Section 2 with Arttest providing features such as content completion, syntax highlighting and visual previews of the specified signals. Since Arttest focuses on MIL and SIL tests in the automotive domain where Simulink is widely used for model-based software development, MATLAB/Simulink is the test execution platform supported by Arttest. Figure 3 depicts the test process in Arttest. After project creation and setup, a test harness is generated automatically based on the chosen model to test, before tests are specified in Arttest by a tester. Subsequently, when test execution is triggered, tests are executed, evaluated and test reports are generated fully automatically.

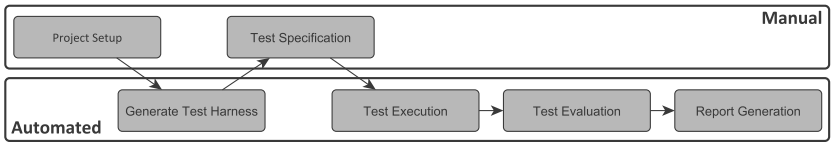


Fig. 3: Arttest Test Process

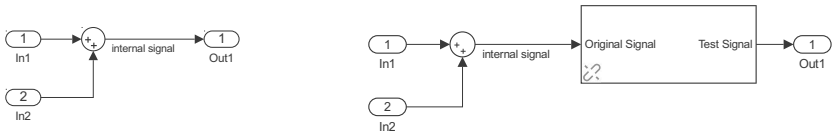


Fig. 4: Internal signal of the harness (left) being enriched by an Arttest block (right) to switch between simulated and specified signals during test execution

The automated harness generation extends the model or subsystem to be tested with Simulink blocks required by Arttest to feed specified signals to the model. When considering open-loop tests which do not react to events by adapting stimulus signals dynamically, it is sufficient to feed signals to the inputs of the SUT using *From Workspace* blocks and to log the output signals created by the simulation of the SUT. However, when executing closed-loop tests, further changes to the generated harness are required to enable the evaluation and overriding of arbitrary internal signals. Thus, when starting the test execution, the generated harness is enriched, as described below, depending on the executed tests and correspondent use of *override* actions, internal signals to be evaluated and *when* actions.

Overriding internal signals is realized by adding an *override* block from the Arttest block library to the harness for every signal which might be overridden according to the specification. Figure 4 shows an internal signal of a model on the left side, which is assumed to be overridden by a test. On the right side of the figure, the result of the automated enrichment of the harness, performed before test execution, is shown. The enriched *override* block allows Arttest to switch between the simulated signal (original signal) and a specified signal according to the executed test.

Evaluating internal signals requires a similar harness enrichment as for overriding signals. Internal signals which are only evaluated and thus not modified need to be recorded, such that Arttest may retrieve the signal data after simulation and perform an evaluation to decide whether the test passed or failed. To record the signal, a block from the Arttest library is added with the signal to be recorded being the input to the added block.

***When* actions** require harness enrichments to access signals used in conditions. The enrichment is identical to the enrichment for the evaluation of internal signals. Furthermore, the use of *when* actions within a test may change the length of the test, whether signals are overridden or not and which values are used to override signals, depending on the condition evaluating to $true$ or $false$ and the time when the condition evaluates to $true$. Thus, an Arttest block is added to the harness, which evaluates the conditions of *when* actions during test execution and decides whether the conditions evaluate to $true$ within the specified time. In case the condition evaluates to $true$ within the specified time frame, the simulation is paused, the state of the model is communicated to Arttest and new signal values based on the retrieved information are calculated and fed to the harness. Finally, before continuing the simulation, the updated values for the internal signals to be overridden, if there are any, are updated within the Arttest blocks which were added during harness enrichment. Figure 5 illustrates this process.

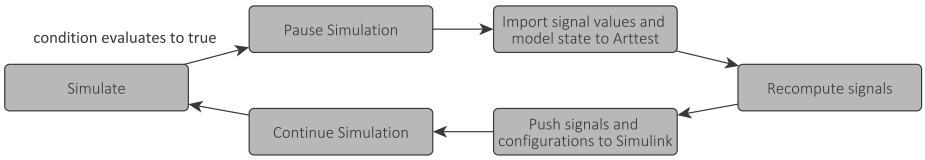


Fig. 5: Arttest process to execute tests containing *when* actions

When enriching the harness model with Arttest library blocks, properties of the model and signals may not be changed. For instance, changing sampling times of blocks and data types of signals would influence the model's semantics in unintended ways. The Arttest library blocks are configured such that the model and signal properties remain unchanged. Furthermore, the Arttest library is designed to be compatible with the Simulink *ert* system target file for code generation. Consequently, code can be generated and compiled based on the enriched harness to perform closed-loop SIL tests. The generation and compilation of code for the enriched SUT is automated by Arttest, enabling the reuse of implemented tests on software level without the need to adapt existing MIL tests manually.

4 Example

To show how the presented concepts for closed-loop MIL and SIL tests work, we test a window control system with a plant model as shown in Figure 6. In order to keep the example as simple as possible, we will assume that a certain driver behavior is hard-coded into the environment model.

The window control model has six input signals being described in Table 5 with driver commands having priority over passenger commands and up commands overriding down commands.

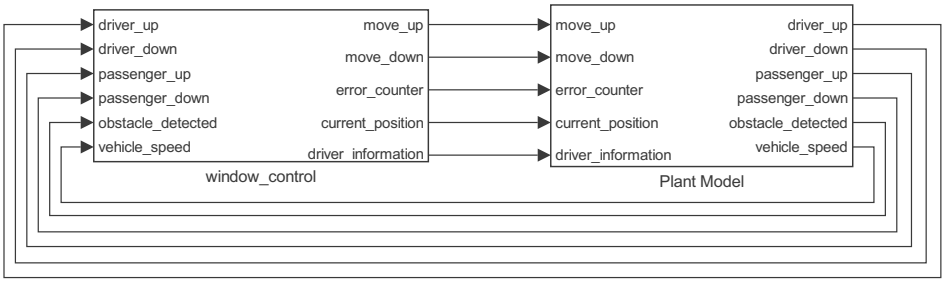


Fig. 6: Window control and plant model

Input Signal	Description
driver_up	*true* if the driver gives the command to close the window
driver_down	*true* if the driver gives the command to open the window
passenger_up	similar to driver_up with the passenger giving the command
passenger_down	similar to driver_down with the passenger giving the command
obstacle_detected	*true* if an obstacle is detected preventing the window from being closed
vehicle_speed	speed of the vehicle in km/h

Tab. 5: Description of the input signals to the window controller

The output signal move_up is *true* in case the window is in the process of being closed. The signal move_down indicates similarly that the window is being opened. In case an obstacle is detected and commands indicate that the window shall close, the window is not lifted any further and the error counter increases. To save energy while driving fast, an information is shown, indicated by boolean signal driver_information, to the driver in case the vehicle speed exceeds 35 km/h and the window is open. The decision to save energy by closing the window is left to the driver.

The plant model describes the scenario that the driver enters a vehicle, the window being open. The driver needs 1.5 seconds to start the engine and subsequently accelerate the vehicle to 50 km/h. When the driver information is shown, it takes the driver one second to notice the information and press the correspondent button until the window is closed.

When simulating the closed-loop system shown in Figure 6 and monitoring the input and output signals of the window_control subsystem, the described behavior as shown in Figure 7 can be observed. Comparing the signals generated by the closed-loop model, we notice that vehicle_speed reaches the threshold of 35km/h after 19 seconds and driver_information switches from zero (*false*) to one (*true*). At second 20, the driver_up signal switches from zero to one and consequently, the window starts to close, which is indicated by the linear rise of signal current_position and move_up being *true*.

Using Arttest and the presented signal specification language, we intend to test if the window_control model closes the window as soon as the driver gives the command.

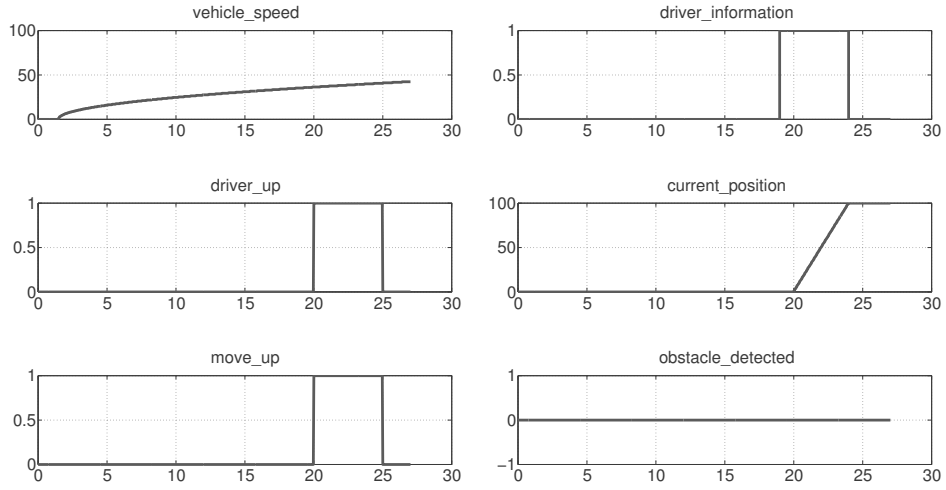


Fig. 7: Signals generated during execution of the model in Figure 6

Moreover, the test shall override the obstacle_detected signal of the plant model such that an obstacle is detected while the window is being closed and ensure that the window is not further lifted. Listing 3 shows the correspondent test based on the signal specification language presented in Section 2.

```
Test:
Step 1:
when [current_position >= 50] during {40} seconds then (
        override <obstacle_detected> on
        <obstacle_detected> set to [TRUE]
)
wait for {5} seconds

Acceptance:
Criterion 1:
when [driver_up == TRUE] during {40} seconds then   (
        <current_position> ramps to [50] within {2} seconds
)
```

List. 3: Test implementation with overridden internal signal and dynamically adapted reference signal current_position

We execute the test from Listing 3 using Arttest and MATLAB R2014a on model and software level. The signals logged during execution of the MIL and SIL test are identical and shown in Figure 8. Since the test does not influence the vehicle speed, the signal vehicle_speed remains unchanged compared to the signal from Figure 7. This holds for the other signals until second 22, too.

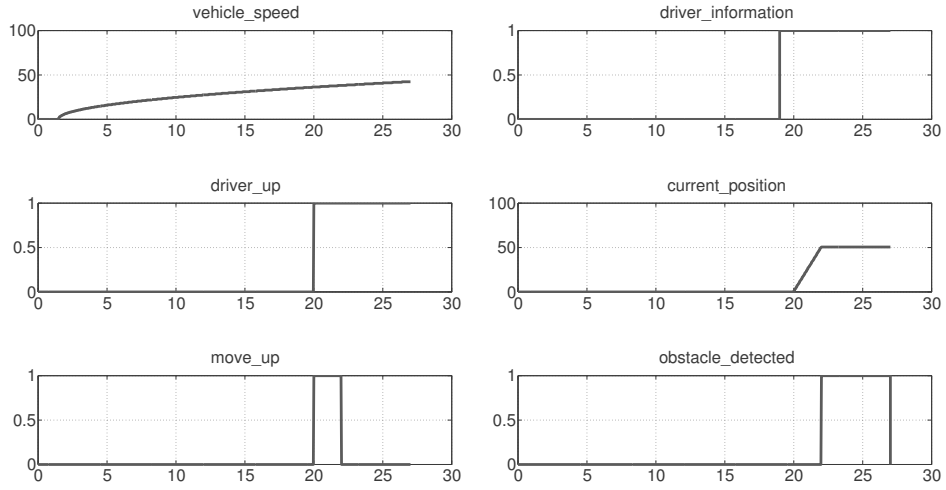


Fig. 8: Signals generated during execution of the test from Listing 3 for the model in Figure 6

According to the executed test case, when current_position reaches 50%, the signal obstacle_detected of the plant model is overridden and its value switches from $false$ to $true$. The window_control model reacts to the detected obstacle causing the window to be halted and thus move_up to be $false$ and current_position to hold the current value as long as the obstacle remains detected.

For evaluation purpose, the logged values for current_position shown in Figure 8 are compared to the specified reference signal. Since the condition $driver_up == TRUE$ was satisfied during test execution at second 20, the specified reference signal is zero until second 20 and then ramps to the value 50 within two seconds. Since the reference signal matches the simulated signal, the test passes.

5 Related Work

There are many approaches from industry and academia available addressing functional test specification and automation on different test levels[La04]. For instance, MTest[3], developed by Model Engineering Solutions, supports the specification of functional tests using a domain specific language. MTest is integrated into MATLAB and supports MIL, SIL and Processor-in-the-Loop (PIL) test executions such as regression/back-to-back tests and coverage analyses.

Simulink Test[4], developed by The Mathworks, is natively integrated into Simulink providing

[3] http://www.model-engineers.com/de/mtest.html
[4] https://www.mathworks.com/products/simulink-test.html

support for MIL, SIL, PIL, HIL and back-to-back tests. Tests are created using specific Simulink blocks provided by Simulink Test, which additionally automates tasks such as test harness generation.

Another commercial solution for functional testing of model-based developed systems is TPT[5], a tool developed by Piketec[BK08]. TPT supports the test execution of MIL, SIL, PIL and HIL tests. Tests can be either specified graphically using automatons, by importing measured data or by test generation techniques.

ECU-Test[6] is a software developed by tracetronic to create and execute tests by interaction with various software and hardware test environments from different vendors[Re03]. ECU-Test features MIL and SIL tests besides HIL test execution.

With focus on HIL tests, dSpace offers solutions such as Automation Desk[7], a software solution for test implementation and automation[Na04]. Tests and evaluation criteria are specified using a graphical specification.

Another approach, targeting the automation of tests for model-based systems is SIMOTEST, developed at Fraunhofer-IESE[BE11]. SIMOTEST supports the IEEE 1641[IE10] standard for signal and test specification enabling signals to be described as a composition of frequently used signal patterns. Similar to MTest, SIMOTEST is integrated into MATLAB and automates test executions and evaluations.

Besides the IEEE 1641 standard, there are other approaches to describe signals, such as the Testing and Test Control Notation (TTCN-3), a well-defined formal language developed to describe tests[Gr03]. Apart from a textual and a table based description, the third version of TTCN introduces a graphical format (GFT) to describe test sequences using a similar notation to UML sequence charts. With Continuous TTCN3[SBG06], extensions to TTCN3 are presented allowing test specifications for reactive embedded systems.

6 Conclusion

This paper presents a test specification language for closed-loop tests, able to express dynamic reactions to events occurring during test execution and influence simulations by overriding signals, e.g., for fault injection. After introducing formal syntax and semantics of the language, Arttest, a tool supporting the automated execution of the specified tests with MATLAB/Simulink, is presented. Using a closed-loop example, we show how the language and the concepts can be used to create a test implementation. The example comprises the overriding of an internal signal and is executed as a MIL and a SIL test with Arttest.

[5] http://www.piketec.com/en/2/tpt.html
[6] https://www.tracetronic.com/products/ecu-test
[7] https://www.dspace.com/en/inc/home/products/sw/test_automation_software/automdesk.cfm

References

[BE11] Böhr, Frank; Eschbach, Robert: SIMOTEST: A tool for automated testing of hybrid real-time Simulink models. In: Emerging Technologies & Factory Automation (ETFA), 2011 IEEE 16th Conference on. IEEE, pp. 1–4, 2011.

[BK08] Bringmann, Eckard; Krämer, Andreas: Model-based testing of automotive systems. In: Software Testing, Verification, and Validation, 2008 1st International Conference on. IEEE, pp. 485–493, 2008.

[Br07] Broy, Manfred; Kruger, Ingolf H; Pretschner, Alexander; Salzmann, Christian: Engineering automotive software. Proceedings of the IEEE, 95(2):356–373, 2007.

[Gr03] Grabowski, Jens; Hogrefe, Dieter; Réthy, György; Schieferdecker, Ina; Wiles, Anthony; Willcock, Colin: An introduction to the testing and test control notation (TTCN-3). Computer Networks, 42(3):375–403, 2003.

[IE10] IEEE 1641: Signal and Test Definition. 2010.

[IS11] ISO 26262: Road vehicles - Functional safety - Part 6: Product development at the software level. 2011.

[Jo12] Jones, Capers: Software defect origins and removal methods. Namcook Analytics, Tech. Rep., 2012.

[La04] Lamberg, Klaus; Beine, Michael; Eschmann, Mario; Otterbach, Rainer; Conrad, Mirko; Fey, Ines: Model-based Testing of Embedded Automotive Software Using Mtest. In: SAE Technical Paper. SAE International, 2004.

[Na04] Nabi, Syed; Balike, Mahesh; Allen, Jace; Rzemien, Kevin: An overview of hardware-in-the-loop testing systems at Visteon. Technical report, SAE Technical Paper, 2004.

[Re03] Reuss et al., BMW: Automatisierter Motorsteuergerätetest mit Hardware-in-the-Loop Prüfständen. 2003.

[SBG06] Schieferdecker, Ina; Bringmann, Eckard; Grossmann, Jürgen: Continuous TTCN-3: Testing of Embedded Control Systems. In: Proceedings of the 2006 International Workshop on Software Engineering for Automotive Systems. SEAS, ACM, NY, USA, pp. 29–36, 2006.

[Sc96] Scowen, Roger: International standard(ISO 14977) Extended BNF. 1996.

[Wi17] Wiechowski, Norbert; Rambow, Thomas; Busch, Rainer; Kugler, Alexander; Hansen, Norman; Kowalewski, Stefan: Arttest - a New Test Environment for Model-Based Software Development. In: SAE Technical Paper. SAE International, 2017.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 1551

Evaluation of a Specification Approach for Vehicle Functions using Activity Diagrams in Requirements Documents

Martin Beckmann and Andreas Vogelsang[1]

Abstract: Rising complexity of systems has long been a major challenge in requirements engineering. This manifests in more extensive and harder to understand requirements documents. At the Daimler AG, an approach is applied that combines the use of activity diagrams with natural language specifications to specify vehicle functions. The approach starts with an activity diagram that is created to get an early overview. The contained information is then transferred to a textual requirements document, where details are added and the behavior is refined. While the approach aims at reducing efforts needed to understand a function's behavior, the application of the approach itself causes new challenges on its own. By examining existing specifications at Daimler, we identified nine categories of inconsistencies and deviations between activity diagrams and their textual representations. This paper extends a previous case study on the subject by presenting additional data we acquired. Our analysis indicates that a coexistence of textual and graphical representations of models without proper tool support results in inconsistencies and deviations that may cause severe maintenance costs or even provoke faults in subsequent development steps.

Keywords: UML; Activity Diagrams; Vehicle Function Specification

1 Introduction

Complex software systems, which can be found for example in distributed embedded systems in automotive electronics, require model-based and system-oriented development approaches [Br06]. Thus, so-called executable specifications are common practice in the automotive industry. Using graphical models for specification manages complexity and improves reusability and analytical capabilities [AD97]. Although graphical models provide a suitable means to specify and understand dependencies and procedural behavior of a system, in industry, they are usually accompanied by a textual representation. Previous work has shown the need for a continuous systems engineering environment, where referring or constitutive documents are essential to work on complex software systems [Re15]. Also, the combined use of graphical diagrams and textual descriptions is considered beneficial for the requirements management process [STP12]. In addition, for industrial applications, tool support and model exchange for graphical models is still not standardized and, as a result, manufacturer/supplier handover is still performed based on textual documents. This

[1] Technische Universität Berlin, Daimler Center for Automotive IT Innovations, Ernst-Reuter-Platz 7, 10587 Berlin, {martin.beckmann, andreas.vogelsang}@tu-berlin.de

doi:10.18420/in2017_155

is especially important since these textual documents often serve as the basis for legal considerations between the contractors [STP12]. Also, due to different backgrounds of the stakeholders, not everyone is capable of understanding the graphical models [AEQ98]. Thus, the information contained in a model, needs to be written in words to be appropriately reviewable [Go04].

Daimler applies an approach, where, as a first step, a UML activity diagram [Ob15] is created for each vehicle function to describe the function's activation and deactivation by triggers and conditions. This kind of description is also known in literature to formulate textual natural language requirements [Fi04]. Textual representations of the activity diagrams along with the diagrams themselves are then transferred into a requirements document for everyone to understand and for ongoing development. The transfer of the model into the requirements document is done manually. This is an error-prone task. Besides, the ongoing development using the requirements document might also cause inconsistencies between the activity diagrams and the document if the activity diagram is not kept up-to-date.

We are interested in understanding what types of inconsistencies and quality issues are introduced by this approach and how severe these issues are. If the approach itself introduces more severe issues than expected benefits, this is a strong argument for automation and quality assurance.

For this purpose, we examined 36 vehicle functions of one system at Daimler that was specified by the introduced approach. As a result, a number of inconsistencies between the requirements document and the activity diagram were found.

All of these findings resulted in nine different categories of quality issues. We found occurrences of these categories in all of the examined functions. The categories are introduced in detail as well as the amount of findings in the examined system. Also, we presented the quality issues to different stakeholders of the system, who assessed their severity. We found that 78% of the vehicle functions contained quality issues that were assessed as major issues. This paper complements previous findings on the same system [BVR17] by presenting additional data that was acquired and comparing it with the previous findings.

2 Background

The Daimler approach used to specify functions of a system employs UML activity diagrams. Creating activity diagrams is the first step of specifying a new vehicle function. They are used to get an early overview of the desired function behavior with a special focus on the functions activation, execution conditions, functional paths, and deactivation. The information contained in the activity diagram is then transferred to a textual requirements document. This transfer is necessary since this textual requirements document is the central artifact for further development. Besides, the textual document contains additional and more

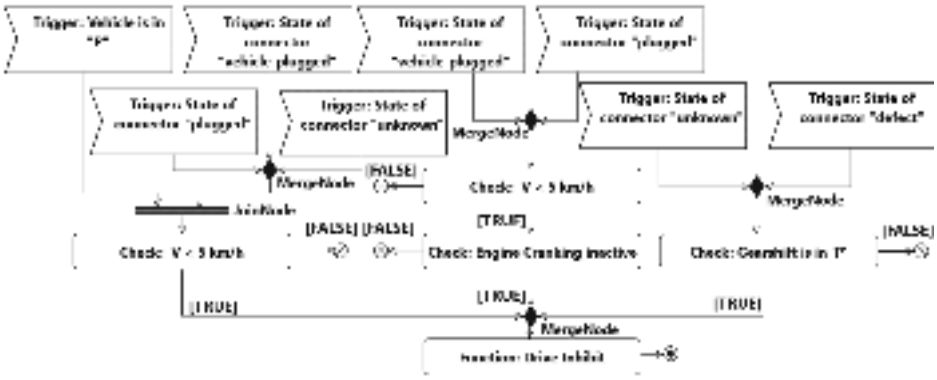
detailed information as well as statements about its context, which relates this approach to Literate Modeling [AEQ98].

Fig. 1 shows an exemplar specification as we have found it at Daimler. The example consists of an activity diagram and its textual representation in the requirements document. In the following, we will explain the example and also the contained quality issues. In the remainder of this work, an element refers to an entity contained in an activity diagram, whereas an object in the text refers to an entity contained in the requirements document.

Fig. 1a displays the activity diagram of the function *Drive Inhibit*. The actual behavior of the activated function is described in the *Action* node labeled with *Drive Inhibit* (bottom of the diagram). The function's activation is described by a combination of triggers and checks for conditions. For triggers, the *AcceptEventAction* element is used. The checks are modeled as *Action* elements. If the condition of a check is not fulfilled, the flow ends (*FlowFinal*). The triggers and checks are connected by *ControlNodes* such as *JoinNodes* and *MergeNodes*. *JoinNodes* act as synchronization points and can be interpreted as AND operators in terms of propositional logic. *MergeNodes* represent OR operators. Once the actual functionality of the function is executed, *ActivityFinal* elements designate the end of an activity.

The corresponding chapter in the textual requirements document is displayed in Fig. 1b. Each row in the document represents an object, which is described by a set of attributes (columns). The *ID* attribute contains a unique identifier of the object. The *Text* attribute is a textual description of the object and is supposed to be equal to the text of the corresponding element in the activity diagram. The *Level* is an attribute to structure the document hierarchically. It is derived from the structure of the activity diagram. The *Type* attribute of each text object is supposed to be equal to the type of its corresponding element in the diagram. These attributes are needed to display the relevant information of the activity diagram in the requirements document. Besides the given attributes, the document contains additional attributes used for further development.

There are many possibilities to display different aspects of an activity diagram as text. An exact textual representation as presented in [FMC09] is not desirable, since it lacks proper readability and comprehensibility for those unfamiliar with activity diagrams. Instead, the used textual representation focuses on the propositional logic, readability, and the recognition value of the structure of the activity diagram. This is implemented by copying the text of the elements of the diagram into distinct objects. Propositional logic operators such as OR and AND are used as strings in the *Text* attributes of the objects to represent the logic statements of the activity diagram. The operators at the end of an object's text connect the object with the following object on the same level of the document hierarchy. For instance, in Fig. 1b, the object with *ID 1236* is connected via an OR with the object with *ID 1111* because it is the next object on the same hierarchical level. Besides the propositional logic purposes, the different levels of the documents are used to display the belonging of the elements within the activity diagram. For example, the check *Vehicle Gear selector is in position "P"* (*ID 1237*) is executed after one of the triggers contained in the object with the



(a) Activity diagram of the Function *Drive Inhibit*

ID	Text	Level	Type
1000	**1.1.1.1.1.1 Drive Inhibit**	6	Function
1236	State of connector "unknown" OR State of connector "defect" OR	7	Trigger
1237	Vehicle Gear selector is in position "P" AND	8	Check
1113	Engine Cranking inactive OR	8	Check
1111	State of connector "plugged on vehicle side" ("VEH_PLUGGED") OR "plugged on vehicle and EVSE side" ("PLUGGED"). OR	7	Trigger
1112	Vehicle velocity is below 5 km/h	8	Check
1114	Vehicle Gear selector is in position "P" OR	7	Trigger
1232	Vehicle velocity is below 5 km/h	8	Check
1233	State of connector "plugged on vehicle side" OR State of connector "plugged on vehicle and EVSE side" OR State of connector "unknown" AND	7	Trigger
1238	Vehicle velocity is below 5 km/h	8	Check

(b) Textual specification of the Function *Drive Inhibit*

Fig. 1: Activity diagram and the specification text of a function

ID 1236 occurred. Hence, it appears one level below. This is important since there might be more than one check associated with a set of triggers, as can be seen in the object in the text with *ID 1113*.

The transfer of information from the activity diagram to the requirements document is a manual process. This might lead to inconsistencies between the activity diagram and the requirements document and other quality issues as can be seen in Fig. 1. Amongst others, these inconsistencies and quality issues are presented in the next chapter.

3 Identified Quality Issues

A preliminary examination of a set of requirements documents at Daimler revealed a number of quality issues. We grouped these quality issues into nine different categories. The categories and their descriptions are listed in Tab. 1. The categories cover the relation between the activity diagrams and the requirements document. Some of them only appear either in the diagram or the text but still have an influence on the respective other artifact. We will explain some of the categories by examining the example in Fig. 1.

Category name	**Description**
Missing Tracing	There is no information to trace an element to its corresponding object in the text or vice versa.
Missing Element/ Object	Either the activity diagram or the requirements document contains entities, which the other does not contain.
Incorrect Logic	The propositional logic of the activity diagram deviates from the requirements document or the logic connections are not clear.
Textual Differences	Elements and their corresponding objects in the text exhibit textual differences.
Redundant Element	The activity diagram contains multiple elements, which have the same type and the same text.
Non Atomic Element/Object	Either an element or an object contains multiple statements. This might appear in both the requirements document or the activity diagram.
Wrong Placement	The placement of an element in the activity diagram does not match with the placement of the corresponding object in the requirements document.
Unnecessary Repetition	There are multiple objects in the requirements document, which are derived from one single element.
Wrong Type	The type of the element does not match the type of the corresponding object.

Tab. 1: Categories

Textual Differences can be found (amongst others) between the triggers in the objects with the *ID 1111, 1233* and their corresponding elements of the diagram. While all elements of the diagram are atomic, the requirements document contains several **Non Atomic Objects** (*ID 1236, 1111, 1233*). These objects incorporate multiple assertions that are connected by propositional logical operators. This is both an issue in the requirements document as well as a deviation between the activity diagram and the requirements document. There are multiple **Redundant Elements** in the diagram such as the checks $V < 5$ *km/h* and the triggers *State of connector "plugged"*. In this example, the appearance of redundant elements in the diagram can be avoided by inserting additional *ControlNodes* and restructuring the activity diagram [Be17]. The category **Incorrect Logic** is present in the objects in the document with the *ID 1113* and *ID 1233*. Both objects end with an operator, for which it is not clear which object they refer to. Neither of them has a successor on the same *level*

below their respective parent object. The object with the *ID 1236* is the parent object of two objects (*ID 1237, 1113*) containing checks. The elements in the diagram, corresponding to the objects with the *ID 1236*, are followed by the diagram element *Check: Gearshift is in 'P'*. In the document the corresponding object (*ID 1236*) is the parent object of an additional check (*ID 1113*). The additional check in the document is elsewhere in the activity diagram. This situation is denoted as the category **Wrong Placement**. The requirements document contains *Check: V < 5 km/h* three times (*ID 1112, 1232, 1238*). But there are only two elements in the activity diagram. Hence, two of the objects in the document refer to one single element in the diagram. This is an instance of the **Unnecessary Repetition** category and can be avoided by grouping the objects accordingly.

4 Previous Results

In a previous study [BVR17], we analyzed a system consisting of 36 activity diagrams and identified several quality issues. The examined subsystem is responsible for charging the high-voltage batteries of Plug-in Hybrid Electric Vehicles and Battery Electric Vehicles. As such the system contains requirements that are relevant for safety as well as for usability. The number of findings for each category are shown in Tab. 2.

Category name	**Findings**	**Number and ratio of functions with findings**	**Average number of findings per function**
Missing Tracing	all[2]	36 (100 %)	-
Missing Element/Object	126	28 (78 %)	3.5
Incorrect Logic	29	22 (61 %)	0.8
Textual Differences	43	20 (56 %)	1.2
Redundant Element	24	15 (42 %)	0.66
Non Atomic Element/Object	18	14 (39 %)	0.5
Wrong Placement	18	10 (28 %)	0.5
Unnecessary Repetition	15	9 (25 %)	0.42
Wrong Type	10	8 (22 %)	0.28

Tab. 2: Occurrences of quality issues per category ordered by frequency of occurrences in functions.

The results show that we found at least 10 occurrences of each category in the 36 examined functions. Moreover, the Missing Tracing occurred in all elements of all functions, which means that we found no trace links to diagram elements at all. In addition, the categories Missing Element/Object, Textual Differences and Incorrect Logic are the most frequent quality issues. All of these categories appear in more than half of the analyzed vehicle functions. The category appearing the least often is Wrong Type with 10 occurrences. In a

[2] In the examined specifications, no tracing links between diagram elements and textual objects were defined.

follow up survey, we presented two existing examples of each category to seven stakeholders of the system to evaluate the severity of the categories. They were asked to answer three questions:

1. Were you aware of the existence of this finding?
2. Do you think this sample is in fact a quality issue?
3. When would you fix this quality issue?

The first two question could be answered with *yes* or *no*. For the third question, we gave the following options: *immediately*, *soon*, *long term*, *never*. The option *immediately* representing the most severe answer and *never* representing the least severe answer.

From the answers, we concluded that our defined categories Wrong Placement, Missing Element/Object, and Wrong Type are in fact quality issues and were rated as the most severe categories. One of the samples of Incorrect Logic is also considered very severe. The perception of the other sample was more diverse. Two stakeholders mentioned that the presented situation does not require addressing the issues, while more than half of the stakeholders would fix the issues at least *soon*. Therefore, we consider Incorrect Logic as an important quality issue. Textual Differences also reached high levels of agreement and no one mentioned that fixing would *never* be needed. A majority perceived Missing Tracing as a quality issue. Nevertheless, two stakeholders mentioned that this does not need fixing, while the rest mentioned it needs to be fixed at least *soon*. The opinions on the categories Redundant Element, Non Atomic Element/Object, and Unnecessary Repetition diverged. This challenges our initial hypothesis that findings of these three categories are indeed quality issues. Still, except for one sample, a majority of stakeholders stated that these findings should be fixed at least *soon*.

5 New Results

Apart from answering our initial survey, four of the stakeholders agreed to complete an additional survey. In that survey, we wanted the stakeholders to rank the severity of the categories. They were asked to rank the categories by conducting a pairwise comparison. For the nine categories this results in 36 necessary pairwise comparisons. For each pair, they had to decide whether two categories are equally severe or whether one is more severe than the other. If one category is rated more severe than the other, the more severe category is attributed with 1 point while the other is attributed with -1 point. In case of equal severity, both categories are attributed with 0 points. The final ranking results from adding up the points of all comparisons for each category. Hence, the category with the most points is the most severe. Besides, the stakeholders had the possibility to add comments as a free-form text at the end of the survey.

Tab. 3 shows the results for each stakeholder. They are ordered by severity starting at the top with the one that is perceived as the most severe. If multiple categories are not separated

by a horizontal line, these categories are perceived as equally severe. The column for the combined results was calculated by summing up the points for each category for all three stakeholders.

Stakeholder 1	**Stakeholder 2**	**Stakeholder 3**	**Combined**
Missing Element/ Object	Textual Differences	Missing Element/ Object	Missing Element/ Object
Wrong Type	Missing Tracing	Textual Differences	Textual Differences
Incorrect Logic	Missing Element/ Object	Incorrect Logic	Incorrect Logic
Missing Tracing	Wrong Type	Wrong Type	Wrong Type
Wrong Placement	Incorrect Logic	Wrong Placement	Missing Tracing
Unnecessary Repetition	Wrong Placement	Unnecessary Repetition	Wrong Placement
Non Atomic Element/ Object	Unnecessary Repetition	Non Atomic Element/ Object	Unnecessary Repetition
Redundant Element	Non Atomic Element/ Object	Redundant Element	Non Atomic Element/ Object
Textual Differences	Redundant Element	Missing Tracing	Redundant Element

Tab. 3: Ranking of quality issue categories for each stakeholders in descending order of their assessed severity

One of the four mentioned stakeholders did not fill in the pairwise comparison and just left a comment instead, saying that deviations between an activity diagram and the textual requirements specification are always severe quality issues regardless of their category. The same person also noted that this is especially important for testing activities since it might impact the results of tests.

Stakeholder 2 (see Tab. 3) stated that complete and unambiguous requirements are essential and hence the requirements must be traceable to elements in complementing diagrams with absolute certainty. This comment is in line with the ranking that emphasizes the importance of tracing and the possibility to match model elements with a specification object by their text.

Considering the individual rankings of the stakeholders, it has to be noted, that the category Missing Element/Object is considered to have a more severe impact than the other categories. *Stakeholder 2* did not differentiate specifically between the categories. As a result, there are only four different ranks. Still, we conclude that the three stakeholders put an emphasis on the category Incorrect Logic being among the most severe as well. Besides, neither the category Wrong Type nor Wrong Placement are among the last three positions of any stakeholder.

The most disagreement occurred for the categories Textual Differences and Missing Tracing. The former is ranked as the most severe by two stakeholders and as the least severe by one stakeholder. The situation is similar for the latter. Missing Tracing is considered to be the second and third most severe category by two stakeholders, while it is considered to be the least severe by one stakeholder. Other than that, the categories Redundant Element, Non Atomic Element/Object and Unnecessary Repetition received low rankings by all of the stakeholders.

The combined results confirm the impression of the individual rankings that Missing Element/Object is the most severe category. Textual Differences on the other hand received a high rank because of the emphasis of *Stakeholder 2* on the category. This is in contrast to the individual rankings, where one stakeholder considered the category as the least severe. The other categories in the combined results reflect the perception of the individual rankings since these categories were ranked similarly by the stakeholders.

6 Comparison of the Results

Overall, the ranking is in line with the results of our previous survey. Missing Element/Object is among the categories perceived as the most severe by the ranking and by the previous survey. Wrong Placement on the other hand, which was perceived as a quality issue by all participants and rated as the most severe in our original survey is no longer perceived as the most severe. Still, it is among the top three of the categories for all stakeholders and in the combined results. The findings for Textual Differences are also confirmed as the individual rankings as well as the previous survey showed disagreement on the severity of the category.

Missing Tracing is also perceived differently regarding its severity during the previous survey. Its position in the middle of the combined ranking merely shows this disagreement. The ranking of Incorrect Logic and Wrong Type confirms the original findings. Both categories were perceived as quality issues by almost all of the stakeholders and rated as very severe as the majority stated the instances of the categories need to be fixed *soon*.

Redundant Element, Non Atomic Element/Object, and Unnecessary Repetition remain the categories that are perceived as the least severe. These categories received the lowest agreement on being quality issues in the first place. Hence, with the exception of a few stakeholders, no one saw the need to fix these quality issues *immediately*. Since these categories take the last three places, the ranking also reflects these previous findings.

The new results confirm the findings of the previous survey. Thus, the conclusion that the identified categories have a severe impact on the quality of the specified vehicle functions remains the same. Since the most severe category Missing Element/Object already appears in 78 % of the investigated functions, it is necessary to address the issues.

7 Possible Solutions

To avoid quality issues resulting from deviations between graphical and textual representations, automatic approaches can be used to keep the diagram and the requirements document in sync. The generation of requirements documents from graphical models is an established approach [NT09]. Different approaches were suggested for specific graphical models. For instance, Maiden et al. [Ma05] use i* models to derive requirements and De Landtsheer et al. [DLLVL04] propose a similar approach for the KAOS goal-oriented method. Fockel and Holtmann [FH14] present a model-driven RE approach with tool support that provides synchronization capabilities for the applied RE models and their textual representations. Still, these approaches are specialized to specific techniques during requirements elicitation and management. Other than that, there are also approaches, that derive textual requirements or a structure for parts of requirements documents from different types of UML/SysML diagrams. Robinson-Mallett [RM12] shows how Statecharts and Block Diagrams can be used to automatically create a structure for a requirements document. Berenbach [Be03] introduces an algorithm that derives a structure for a requirements document from use case diagrams. Since all of these approaches do not use activity diagrams, they are not applicable to the presented specification approach. The approach presented by Drusinsky [Dr08] supports activity diagrams, however, only for UML-1. Additionally, only the generation of actual requirements is addressed but not the creation of a requirements document structure. Another possibility is the use of Projectional Editors, which automatically edit different projections of a common underlying model, in this case the activity diagram and its textual representation. However, this possibility may require substantial efforts and experienced developers [Be16]. Hence, a custom-made and lightweight synchronization solution might be well suited to prevent the mentioned quality issues for the used specification approach. A supporting tool would need direct access to the modeling and requirements engineering tool to extract certain aspects (e.g. propositional logic relations, functional paths) from the diagrams for use in the document.

8 Threats to Validity

The rankings were obtained by asking stakeholders to perform a pairwise comparison of the presented quality issues. The stakeholders we asked already participated in the initial case study. Hence, they had prior knowledge of the possible quality issues. The knowledge is necessary to complete the ranking but might also have had an influence on the decisions the stakeholders made.

Besides, only four of the original seven stakeholders participated. This strengthens the threat that the result are highly influenced by individual persons and can only give an impression. Thus, the conclusion, that the findings of the initial case study are confirmed is challenged by the small number of participants. As a result, it cannot be assumed that the findings are generalizable. In order to achieve generalizability, the case study needs to be repeated with additional stakeholders and under consideration of more than one system.

9 Conclusion and Outlook

In this paper, we presented possible quality issues that may arise when using a certain specification approach that is used at Daimler. The approach incorporates UML activity diagrams in requirements documents. Those activity diagrams are accompanied by textual representations of the diagrams. The textual representation is edited and further refined during ongoing development.

In a previous case study on a real system, we assessed the total number of occurrences of possible quality issues in the requirements document of the system. Also, we conducted a survey to find out whether they agree that the quality issues we identified are in fact quality issues and how they rate the severity of preselected samples. In a following survey, we asked the same stakeholders to rank the presented quality issues by severity. The aim was to gain further insights on whether the previous findings are in line with new results. We found that the ranking of the quality issues confirm our previous findings. Differences occur in the perception of the category Wrong Placement, which was considered more severe during our initial case study. Although less stakeholders participated in this case study, the disagreement on a number of quality issues is also reflected in the rankings of the individual stakeholders.

Since there was only one system available, the generalizability is limited. The findings need to be validated by repeating the case study with a different system. An aspect that was out of scope of this work, is the influence of the identified quality issues on following development stages. The case study assessed the number of occurrences in a certain requirements document and the severity of the quality issues but not the resultant consequences. Hence, it needs to be addressed how these quality issues effect the development of the final product and future products, that reuse the existing requirements document.

Some of the problems resulted from the way the textual representations of the activity diagrams are structured. Ongoing research is about which different presentations might be better in terms of avoiding the quality issues as well as maintaining proper readability.

References

[AD97] Apfelbaum, Larry; Doyle, John: Model Based Testing. In: Software Quality Week Conference. 1997.

[AEQ98] Arlow, Jim; Emmerich, Wolfgang; Quinn, John: Literate Modelling Capturing Business Knowledge with the UML. In: International Conference on the Unified Modeling Language. Springer, 1998.

[Be03] Berenbach, Brian: The Automated Extraction of Requirements from UML Models. In: 11th IEEE International Requirements Engineering Conference (RE). 2003.

[Be16] Berger, Thorsten; Völter, Markus; Jensen, Hans Peter; Dangprasert, Taweesap; Siegmund, Janet: Efficiency of Projectional Editing: A Controlled Experiment. In: 24th ACM

SIGSOFT International Symposium on Foundations of Software Engineering (FSE). 2016.

[Be17] Beckmann, Martin; Michalke, Vanessa; Vogelsang, Andreas; Schlutter, Aaron: Removal of Redundant Elements within UML Activity Diagrams. In: ACM/IEEE 20th International Conference on Model Driven Engineering Languages and Systems. 2017.

[Br06] Broy, Manfred: Challenges in automotive software engineering. In: Proceedings of the 28th international conference on Software engineering. ACM, NY, USA, 2006.

[BVR17] Beckmann, Martin; Vogelsang, Andreas; Reuter, Christian: A Case Study on a Specification Approach using Activity Diagrams in Requirements Documents. 2017. 25th IEEE International Requirements Engineering Conference.

[DLLVL04] De Landtsheer, Renaud; Letier, Emmanuel; Van Lamsweerde, Axel: Deriving tabular event-based specifications from goal-oriented requirements models. Requirements Engineering, 9(2), 2004.

[Dr08] Drusinsky, Doron: From UML activity diagrams to specification requirements. In: IEEE International Conference on System of Systems Engineering (SoSE). 2008.

[FH14] Fockel, Markus; Holtmann, Jörg: A requirements engineering methodology combining models and controlled natural language. In: 4th International Model-Driven Requirements Engineering Workshop (MoDRE). IEEE, 2014.

[Fi04] Firesmith, Donald: Generating Complete, Unambiguous, and Verifiable Requirements from Stories, Scenarios, and Use Cases. Journal of Object Technology, 3(10), 2004.

[FMC09] Flater, David; Martin, Philippe; Crane, Michelle: Rendering UML Activity Diagrams as Human-Readable Text. Technical report, 2009.

[Go04] Goldsmith, Robin F: Discovering Real Business Requirements for Software Project Success. Artech House, 2004.

[Ma05] Maiden, Neil AM; Manning, Sharon; Jones, Sara; Greenwood, John: Generating requirements from systems models using patterns: a case study. Requirements Engineering, 10(4), 2005.

[NT09] Nicolás, Joaquín; Toval, Ambrosio: On the Generation of Requirements Specifications from Software Engineering Models: A Systematic Literature Review. Information and Software Technology, 51(9), 2009.

[Ob15] Object Management Group (OMG): , OMG Unified Modeling Language (OMG UML), Version 2.5. OMG Document Number formal/2015-03-01 (`http://www.omg.org/spec/UML/2.5/`), 2015.

[Re15] Reuter, Christian: Variant Management as a Cross-Sectional Approach for a Continuous Systems Engineering Environment. In: Proceedings of the 8th Grazer Symposium Virtual Vehicle. 2015.

[RM12] Robinson-Mallett, Christopher L: An Approach on Integrating Models and Textual Specifications. In: 2nd International Model-Driven Requirements Engineering Workshop (MoDRE). 2012.

[STP12] Sikora, Ernst; Tenbergen, Bastian; Pohl, Klaus: Industry needs and research directions in requirements engineering for embedded systems. Requirements Engineering, 17(1), 2012.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 1563

Automated Continuous Evaluation of AUTOSAR Software Architecture for Complex Powertrain Systems

Hariharan Venkitachalam[1], Kalkin Powale[2], Christian Granrath[3] und Johannes Richenhagen[4]

Abstract: Connectivity of the vehicle to heterogeneous information sources is one of the key factors which lead to complexity of automotive software architecture. The information content from external communication sources modifies the structure, content and the synchronization of control algorithms. In addition to this, time and cost constraints for software development are challenging. With increasing complexity and reduction of development time, ensuring software quality is one of the foremost priorities of vehicle manufacturers. Software architecture plays an important role in ensuring quality by implementing design principles which enhance non-functional quality attributes of the automotive software. The extent to which a software architecture definition fulfills the quality requirements is not verified at early stages of development. As a consequence, design problems are transferred to later stages of development thereby causing rework of software artifacts. The paper focuses on a tool-based evaluation of non-functional quality characteristics using the concept of Continuous Integration for AUTOSAR-based transmission control software. The suggested approach enables early and continuous evaluation of software architecture thereby improving software quality

Keywords: Software Architecture, Software Quality, AUTOSAR, Continuous Integration, Agile Methods, Frontloading

1 Introduction

The complexity of the powertrain software architecture is increasing exponentially [Da13] [VWR16a]. The major reasons for this complexity are emission legislation, efficiency, a large number of variants, connectivity of data to the powertrain and automated driving. A stringent emission legislation has led to the electrification of the powertrain which involves coordination between various powertrain components. The advent of Car-2-Car, Car-2-X, and cloud-based technologies have added more data inputs to the powertrain which help in optimizing fuel consumption and reduce greenhouse gases[Ri15]. The synchronization between powertrain control algorithms and external data sources adds complexity due to timing constraints. With the evolution of autonomous vehicles, a large

[1]RWTH Aachen, Institute for Combustion Engines, Forckenbeckstrasse, 52074 Aachen, venkitachalam@vka.rwth-aachen.de
[2]TU Chemnitz, Department of Computer Science, Strasse der Nationen 62, 09111 Chemnitz, kalkin.p@gmail.com
[3] RWTH Aachen University, Institute for Combustion Engines, Forckenbeckstrasse, 52074 Aachen, granrath@vka.rwth-aachen.de
[4] FEV GmbH, Embedded Software Systems, Neuenhofstrasse 181, 52078 Aachen, richenhagen@fev.com

doi:10.18420/in2017_156

portion of the mission-critical functionality will be realized using software [Mc16].Thus, ensuring a high-quality software is important for the adoption of new technologies in the automotive software domain. The increase in software complexity makes the software difficult to maintain, test and to identify quality defects. Market demand has reduced the time available for the development of automotive control software [Ek15], [KK14]. As a result of this, software quality defects in the vehicle are increasing [SR16]. Given the cost of rework and warranty costs involved in fixing software quality defects, it is important to identify those at the early stages of development [BP88].

1.1 Research Questions

Software architecture is one of the earliest activities in the development lifecycle which involves decomposition of a complex functionality into smaller and manageable parts. The architectural decisions made at the start of the project have a deep impact on structural and dynamic aspects of the software. In the past few years, AUTOSAR has emerged as a standard way to express software architecture, ensure portability of software components and enable software sharing between suppliers and vehicle manufacturers [AU].

The increasing complexity of software architecture has resulted in a lack of consistent overview of software architecture. Reduction of the development time has caused "quick-and-dirty" changes to be included in the software. As a result, quality issues were detected at later stages of development. The automotive software also has to comply with a large number of standards [IS11c], [IS11a]. This leads us to the research question (RQ1)

- RQ1: What are the quality requirements of software architecture in the powertrain domain?

AUTOSAR standardized the interfaces to the basic software and workflow which is supported today by various commercial tools [AU]. However, the impact of the architectural design decisions (for e.g. functional decomposition, interface definition) on software quality of AUTOSAR software components has not been explored in detail. Current evaluation methods for software architecture focus on the manual evaluation of the architecture drafts and design guidelines. Given the high complexity of powertrain software architecture, a manual evaluation of the software quality is difficult. Software architecture is also evolving with the increasing complexity. In the absence of an objective and continuous method to evaluate the software architectural quality, design flaws are passed on the next stages of development. These design flaws lead to rework of software artifacts thereby, increasing development cost. Thus, a continuous evolution of software architecture requires a high-frequency evaluation of software quality attributes. This leads us to the second research question (RQ2)

- RQ2: How to continuously evaluate the quality of AUTOSAR software architecture?

1.2 State-of-the-Art

AUTOSAR proposes a layered architecture can be broadly classified into three layers at the highest abstraction level namely - Basic Software (BSW), Real Time Environment (RTE) and Application Layer (APSW) [AU]. The basic software provides a communication framework for the software. The Real Time Environment (RTE) provides communication services to the application software which makes the AUTOSAR software components independent from the mapping to a specific ECU. The application layer (APSW) consists of the control algorithms which are implemented on top of the AUTOSAR framework which is implemented as compositions, components, and runnables. The analysis of the software architecture is focused on the application software.

AUTOSAR focuses on non-functional quality characteristics such as portability of software architecture. However, there are many other quality criteria that need to be fulfilled to ensure software quality (for e.g. testability, maintainability, etc.) that are not directly addressed by AUTOSAR software architecture. The existing validation tools focus on verification of the syntax of the architecture specification. However, they do not address the relationship between the architectural parameters and software quality. This paper focuses on addressing this technological gap which will enable early assessment of AUTOSAR-based application software.

There exist two fundamental approaches to evaluate software architecture namely- scenario-based [Cl09] and metric-based methods. The scenario-based method involves subjective evaluation of software architecture quality based on scenarios which are created by key stakeholders involved in the project with or without a formal architecture specification [Cl09]. The reproducibility of the results from the scenario-based approach is not ensured [VWR16a]. The metric-based approach, on the other hand, needs a semi-formal or formal architecture specification but ensures reproducible results.

2 Methodology

The authors propose a “metric-based continuous evaluation” of powertrain software architecture to perform early, objective and repeated evaluation of software architecture. The fundamental approach is based on the previous works of the author [VWR16a], [Ve17]. This paper deals with the extension of the metric-based evaluation concept for AUTOSAR architectures. In general, the metric-based approach proposed consists of the following steps which are described below

- Definition of the quality model and metrics
- Continuous measurement and evaluation of metrics
- Architecture design improvement using metrics

2.1 Definition of quality model and metrics

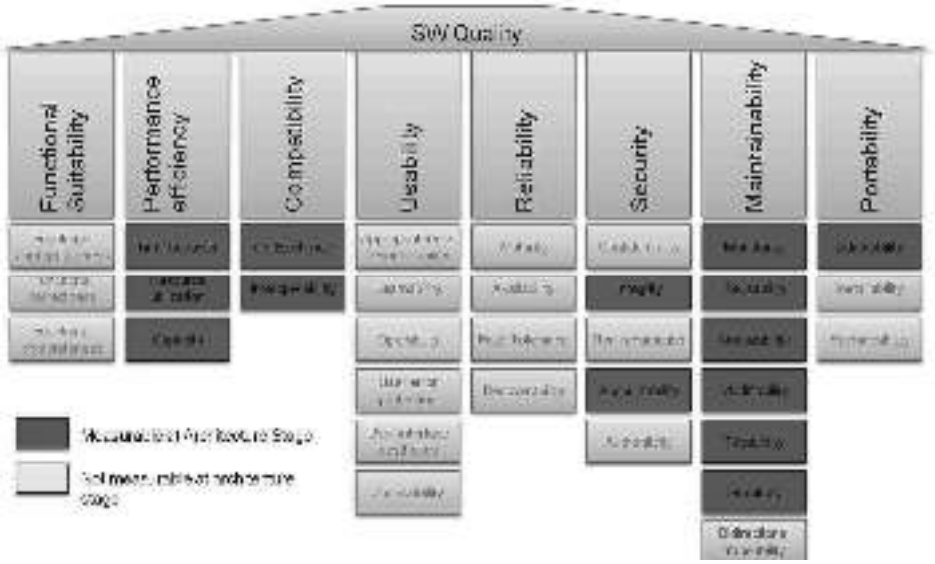


Fig. 1: Quality model for AUTOSAR-based software architectures based on ISO 25010 standard [IS11c]

The first step of architecture evaluation is the definition of the quality model. The key research question that we tackle here in this section is

- RQ1: What are the quality requirements of software architecture in the powertrain domain?

The Goal-Question-Metric approach is followed to define the metrics based on quality criteria [Ba92]. The quality criteria which are relevant for software architecture are described in a quality model which is based on the ISO 25010 and ISO 26262 standards [IS11c], [IS11a], [Ve17]. In addition to this, there are certain organizational goals which need to be considered like reusability of software components [Ri13], [Wi03], [Ha03], modularity [Pa72], [Ri13], [Dr08]. Thus, a quality model is created by considering the standards and the organizational requirements. There exist various models which describe software quality attributes [FHR08], [Wa10].

Only a few quality characteristics can be measured at the early stages of software development. The quality characteristics which are influenced by the software architecture were identified by literature survey [Ri14], [BCK13], [Sc02], [Wa96], [Bo07], [Fr03], [LL13]. The next step is to identify the mapping between the quality criteria and architectural parameters. The extent to which these quality attributes can be measured using the architectural parameters at early stages of development is evaluated. Based on this, we conclude upon the metrics to be used to evaluate software quality based

on the abstraction levels.

2.2 Continuous measurement and evaluation of software architecture

The complexity of powertrain functionality and the reduced time available for the evaluation of architecture has necessitated a tool-based approach to measuring software architectural quality. The sections 2.2 and 2.3 deal with the research question

- RQ2: How to continuously evaluate the quality of AUTOSAR software architecture?

The proposed tool-framework has two major parts which deal with the measurement and evaluation of software architecture. The first step involves extraction of the architectural information from the ARXML file format. The information extracted from the ARXML file is based on the architectural parameters which are required to compute the metrics. The measurement framework uses the extracted architectural information from various powertrain software projects to calculate metrics (defined in in Section 2.1) based on quality criteria.

The evaluation framework uses the measurement information from various projects and calculates thresholds based on statistical data. The outcome of the metric evaluation can vary based on the definition of thresholds. The fulfillment of quality criteria cannot be identified by a single metric. Hence, a combination of various metrics is required to identify the fulfillment of quality criteria. The evaluation framework aggregates and assigns weights for the metrics based on the quality criteria. Depending upon the importance of quality criteria, sufficient weights are assigned to various quality criteria. A detailed explanation of the evaluation framework is covered in the previous works of the author [Ve17]. This paper focuses on extending the measurement framework based on AUTOSAR concepts. The metrics are developed on a MATLAB/Simulink® tool-framework.

As mentioned before, the core focus of this work is to extend the measurement of quality for AUTOSAR-software architectures. Hence, the concept extension impacts only the measurement framework (see Fig. 2). ARXML, which is the standardized file format to describe software architecture, is used as the artifact to extract architectural information. In the previous works of the author, the focus was on structural aspects. However, the ARXML file format provides detailed information regarding timing and memory consumption in the software architecture. Hence these quality characteristics have been evaluated.

2.3 Architecture Design Improvement

The understanding of the relationship between architectural parameters and quality characteristics helps us suggest improvement measures for the software architecture. Tab.

1 shows some of the metrics, their design consequences and improvement measures for a better software architecture design. For each metric, such a design consequence and counter-measures are suggested.

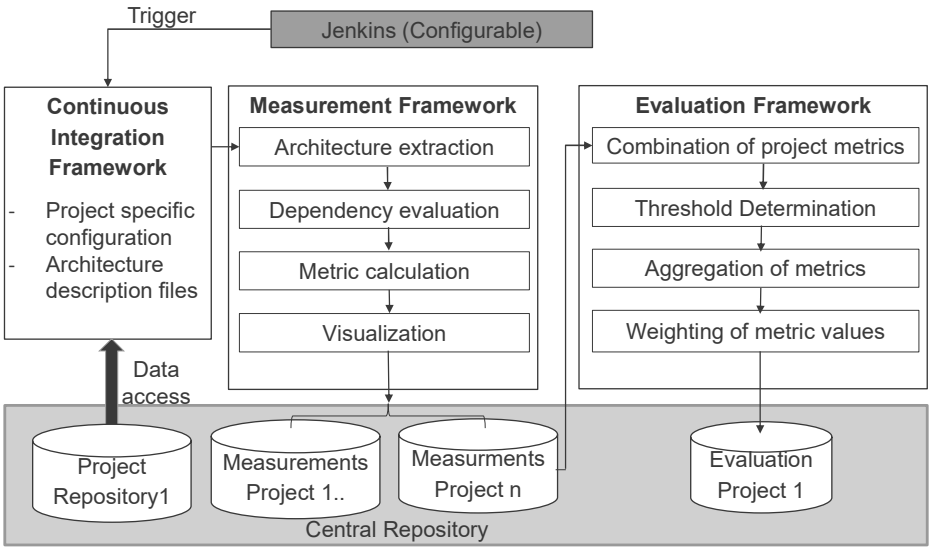


Fig. 2: Tool-framework used for the continuous evaluation of software architecture using metrics

3 Validation of architecture metrics

The metric-based architecture evaluation concept was applied to an AUTOSAR-based transmission control unit software. The current realization is validated for the ARXML file generated from Systemdesk® based on the AUTOSAR 4.0 specification. However, the measurement framework can also evaluate the ARXML files which are generated by other tools. Since a single transmission control unit project has been considered for the evaluation of the metric concept, a statistical evaluation is not feasible. Hence, an empirical evaluation of the metric values with software quality criteria is performed by empirical validation with experts. In the case of a larger dataset, the statistical evaluation as shown in Fig. 2 can be used. The empirical validation of the metrics concept suggested by the authors consists of a macro-level validation which evaluates whether the approach tackles the key problems of handling complexity, ensuring software quality and improving development efficiency. At a micro-level, the extent to which the architecture metrics concept deals with these problems in detail is evaluated.

3.1 Handling complexity of software architectures

The tool-based approach was capable of handling a transmission control unit with 62 application software components and more than 300 signals received from the CAN bus. The correctness of the results generated by the tool was manually verified for a set of software components. There is no restriction regarding the complexity of the architecture which can be handled by the tool-based approach.

3.2 Evaluating software quality

The second aspect of validation involves determining the usability of the metrics for determining quality. There exist three approaches to evaluate the usability of the architecture metric. One of the approaches is to correlate the metric with another established metric at later stages of development (model or code) [Ve17]. The second approach involves correlating the metric with defect density [Ku]. The third method involves empirical validation with experts. The third approach involves discussions with developers in the project to identify the conceptual relationship between problems faced in code generation and software integration and the metrics. Unlike other approaches, this is more conceptual in nature and established a causality between AUTOSAR concepts and software quality. Hence, this approach was adopted.

3.3 Reduction of development time and effort

A high degree of automation enables faster feedback loops for software development to respond to shorter development time and enables reduction of costs. The continuous integration framework provides a basis for implementing a technical solution which provides fast feedback loops for the evaluation of software. A traditional scenario-based analysis of software architecture is estimated to involve an effort of 70 man days [Cl09]. The engineering effort estimated for the conception, development, and deployment of architecture metrics is high. However, the applicability of metrics across a software product line or a group of projects reduces the effort over a large number of projects.

Metric	Design consequence	Improvement measures
Number of runnables per software component	Latency time of a component is affected by using a large number of runnables. Depending upon the implementation, there are two categories of runnables namely- basic and extended runnable entities depending upon whether they contain a "wait point" or not. The mapping of extended runnable entities to a single task leads to jitter which affects the time behavior.	The number of runnables per software component must be reduced to reduce the complexity of the software component. A threshold of 3 runnables per component needs to be set for the software architecture to improve understandability of the software component.
Number of inter-runnable variables per software component	Inter-runnable variables are in general protected by critical sections. The latency time increases due to a large number of inter-runnable variables.	The software developers propose a design with less inter-runnable variables for safety-critical applications. This improves the time behavior of the software components.
Fan-in (adapted for AUTOSAR from [HK81])	A large number of fan-in would mean that there are a large number of components coupled to the input side of a software component. This reduces the testability of the software component.	The coupling of components to various software components must be reduced by grouping of functionally or logically cohesive software components.

Tab. 1: Example of design consequences and architecture improvement using metrics

4 Results

The focus of the work is to develop a tool-based evaluation methodology for AUTOSAR software architectures. Fig. 1 shows the quality model for the powertrain software architecture based on the first research question (RQ1). Fig. 2 shows the tool architecture for continuous evaluation of software architecture based on the second research question

The solution was based on two key research questions. The first research question (RQ1) focussed on the development of a quality model for software architecture which outlined

those quality attributes which can be evaluated at early stages of development. The quality goals were derived from various standards like ISO 25010[IS11a] and ISO 26262[IS11b]. Fig. 1 shows the quality goals for software architecture which can be measured at the early stages of development.

The next key research question (RQ2) focussed on the evaluation of the software architecture continuously. The quality metrics defined were programmed into the continuous integration environment (as shown in Fig. 2). These metrics were evaluated for a transmission control unit software. The metrics are based on the abstraction level of the elements in the software architecture. Fig. 3 shows some of the metric results at the abstraction level of the AUTOSAR software components. Tab. 2 shows some of the metrics at the system level including various electronic control units in the architecture based on the ARXML file. These results at various abstraction levels are used to identify improvement measures for the software architecture similar to Tab. 1.

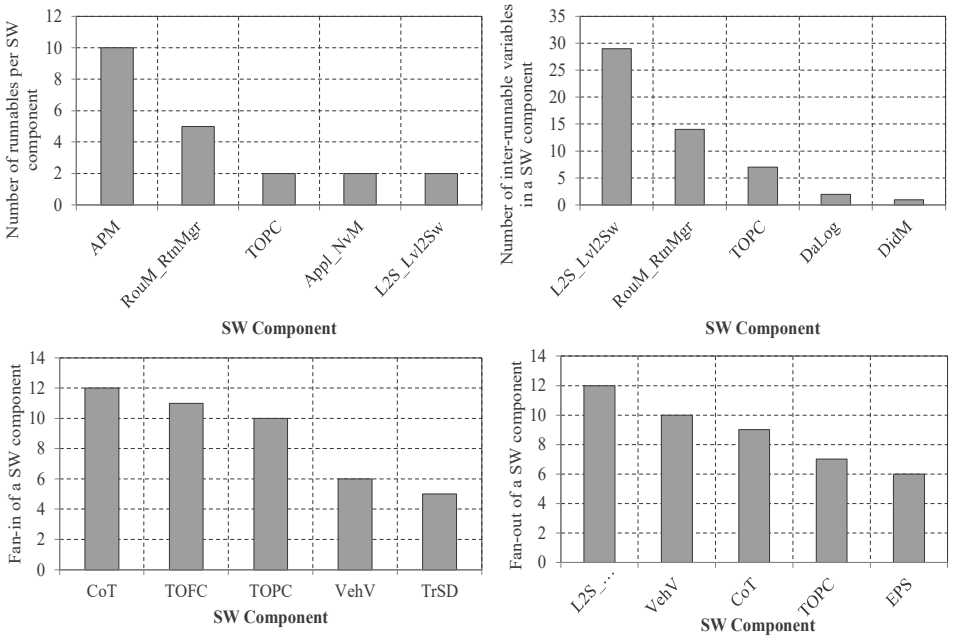


Fig. 3: Metric results for an AUTOSAR-based transmission control unit

Description of the system level metric	Measured values
Total number of COM signals	324
Number of OS tasks	67
Number of Application SW components	62

Number of service SW components	8
Number of complex device drivers	3

Tab. 2: Metrics at the system level derived from the ARXML file with the measured values.

5 Conclusion and Future Outlook

Metric-based analysis of software architecture tackles some of the key problems faced related to quality and development time. Although AUTOSAR standardizes the interfaces to the basic software, aspects of testability, maintainability and their relationship with architectural parameters were not delved into. This approach fundamentally focuses on quantifying the impact of architectural decisions on software quality. The tool-based implementation provides a framework to handle the architectural complexity of the powertrain and provides feedback regarding the quality attributes. The continuous integration framework provides the possibility to evaluate software architecture after modifications thereby reducing the cost of rework. Hence, it supports the agile development of software functionalities for the vehicle without compromising on software architectural principles.

Definition of threshold values for a large number of AUTOSAR-metrics is still an open topic. The evaluation framework proposed by the authors in their previous work is based on statistical data from multiple projects. Since the availability of statistical data is limited, the approach is to define empirical thresholds for various metrics based on consultation with experts. These empirical thresholds will form the basis for tracking the fulfillment of design guidelines for future AUTOSAR projects.

References

[BCK13] Bass, L.; Clements, P.; Kazman, R.: Software architecture in practice. Addison-Wesley, Upper Saddle River, NJ, 2013.

[Bo07] Bosch, J.: Design and use of software architectures. Adopting and evolving a product line approach. Addison-Wesley, Harlow [u.a.], 2007.

[BP88] Boehm, B. W.; Papaccio, P. N.: Understanding and controlling software costs. In IEEE Transactions on Software Engineering, 1988, 14; pp. 1462–1477.

[Cl09] Clements, P.: Evaluating Software Architectures. Methods and Case Studies. Addison-Wesley, 2009.

[Da13] Davey, C.: Automotive Software Systems Complexity. Challenges and Opportunities, 2013.

[Dr08] Dressler, J.M.: A Walk Through EMS2010 Modular Software Development, 2008.

[Ek15] Eklund, U.: The future of Automotive Software Engineering, 2015.

[FHR08] Fieber, F.; Huhn, M.; Rumpe, B.: Modellqualität als Indikator für Softwarequalität. Eine Taxonomie. In Informatik-Spektrum, 2008, 31; pp. 408–424.

[Fr03] Frankel, D.: Model driven architecture. Applying MDA to enterprise computing. Wiley, New York, 2003.

[Ha03] Hammel, C. et.al.: A Common Software Architecture for Diesel and Gasoline Engine Control Systems of the New Generation EDC/ME(D)17. SAE International400 Commonwealth Drive, Warrendale, PA, United States, 2003.

[HK81] Henry, S.; Kafura, D.: Software Structure Metrics Based on Information Flow. In IEEE Transactions on Software Engineering, 1981, SE-7; pp. 510–518.

[IS11a] ISO: ISO/IEC 25010:2011 Systems and software engineering -Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) -- System and software quality models, 2011.

[IS11b] ISO: ISO/DIS 26262-Road vehicles – Functional safety- Part 6: Product development at the software level. International Standardization Organization, 2011.

[IS11c] ISO: ISO/DIS 26262-Road vehicles - Functional safety- Part 6: Product development at the software level. International Standardization Organization, 2011.

[KK14] Katumba, B.; Knauss, E.: Agile Development in Automotive Software Development: Challenges and Opportunities. In (Jedlitschka, A. Ed.): Product-focused software process improvement. 15th International Conference, PROFES 2014, Helsinki, Finland, December 10-12, 2014 proceedings. Springer, Cham, 2014; pp. 33–47.

[LL13] Ludewig, J.; Lichter, H.: Software Engineering. Grundlagen, Menschen, Prozesse, Techniken. dpunkt-Verl., Heidelberg, 2013.

[Mc16] McKinsey: Numetrics R&D Analytics. Introduction.

[Pa72] Parnas, D.L.: On the Criteria To Be Used in Decomposing Systems into Modules, 1972.

[Ri13] Richenhagen, J.: Development of modular powertrain controls with continuous integration, 2013.

[Ri14] Richenhagen, J.: Entwicklung von Steuerungs-Software für den automobilen Antriebsstrang mit agilen Methoden. Dissertation, Aachen, 2014.

[Ri15] Richenhagen, J. et al.: PERSIST – A scalable software architecture for the control of diverse automotive hybrid topologies. In (Bargende, M.; Reuss, H.-C.; Wiedemann, J. Eds.): 15. Internationales Stuttgarter Symposium. Automobil- und Motorentechnik. Springer Vieweg, Wiesbaden, 2015; pp. 37–56.

[Sc02] Schmidt, D. C.: Pattern-orientierte Software-Architektur. Muster für nebenläufige und vernetzte Objekte. dpunkt-Verl., Heidelberg, 2002.

[SR16] SRR Global Financial Advisory Services: Industry Insights for the road ahead. Automotive Warranty and Recall Report 2016.

[Ve17] Venkitachalam, H. et al.: Metric-based Evaluation of Powertrain Software Architecture. In SAE International Journal of Passenger Cars - Electronic and Electrical Systems, 2017, 10.

[VWR16a] Venkitachalam, H.; Wissel, D. von; Richenhagen, J.: Metric-based Evaluation of Software Architecture for an Engine Management System. In SAE International Journal of Engines, 2016, 9.

[Wa10] Wagner, S. et al.: Softwarequalitätsmodelle – Praxisempfehlungen und Forschungsagenda. In Informatik-Spektrum, 2010, 33; pp. 37–44.

[Wa96] Wasserman, A. I.: Toward a discipline of software engineering. In IEEE Software, 1996, 13; pp. 23–31.

[Wi03] Williams, C.: Algorithms, Algorithm Modeling, Software, & Software Architecture. http://www.eecs.umich.edu/courses/eecs486/win03/notes/GMVisit.pdf.

[Ku] Kugler, C. et al.: Metrics-based strategies for quality assurance of automotive embedded software. In (Bargende, M.; Reuss, H.-C.; Wiedemann, J. Eds.): 17. Internationales Stuttgarter Symposium. Automobil- und Motorentechnik. Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, Wiesbaden, 2017; pp. 711–730.

[AU] AUTOSAR: Layered Software Architecture. Version 4.2.2. www.autosar.org, accessed 2017.

[Ba92] Basili, V.: Software Modelling and Measurement. The Goal/Question/Metric Paradigm, report CS-TR-2956, Department of Computer Science, University of Maryland, College Park, 1992

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 1575

Rapid Prototyping in AUTOSAR Based Systems

Owes Khan [1], Norbert English [1], Wolfram Hardt [1]

Abstract: Application prototypes involving complex algorithms for purposes like ADAS are often developed on PC based systems. For validation, these prototypes must be executed on automotive embedded systems. Furthermore, with increasing industry demand of AUTOSAR based ECUs, integration with AUTOSAR environment also becomes a necessity. The process in itself is time consuming due to the fulfilment of various steps involved in the AUTOSAR methodology. On the contrary, for rapid prototyping, time and effort for non-functional requirements should be minimal. A concept for automated integration of non-AUTOSAR compliant prototype codes within an AUTOSAR system, along with application specific configuration and generation of the complete system is proposed by this paper. The main aim is focused on memory usage reduction of AUTOSAR BSW along with the integration of prototype codes to facilitate an AUTOSAR Processor-in-Loop test environment for the application.

Keywords: AUTOSAR; Rapid Prototyping; Integration

1 Introduction

1.1 AUTOSAR

AUTomotive Open System Architecture is abbreviated as AUTOSAR, and is a standardised architecture for the development of software in the automotive industry. It is also a collaboration of automotive OEMs (Original Equipment Manufacturers), suppliers, tool vendors and other electronics, semiconductors and software companies. The main objective of AUTOSAR lies in formulating and establishing open standards in automotive E/E (Electrical & Electronic) architectures to facilitate a basic infrastructure for development of automotive software. With such an industry standard cost saving, quality and reduction in complexity are just some of the advantages].[Ro11][Fü10] The AUTOSAR consortium gives specifications for the main topics of Application Interfaces (API), architecture, methodology.

The standard AUTOSAR consists of three main layers formed by Application layer, RTE(Run Time Environment) and BSW(Basic SoftWare). The application layer is formed of SoftWare Components(SWC) which communicate with the RTE. The main application in perspective is located here. This layer is independent of target hardware.[KF09] RTE handles SWC-SWC

[1] Technische Universität Chemnitz, Technische Informatik, Straße der Nationen 62, 09111 Chemnitz, Germany
owes.khan/norbert.englisch/wolfram.hardt@informatik.tu-chemnitz.de

doi:10.18420/in2017_157

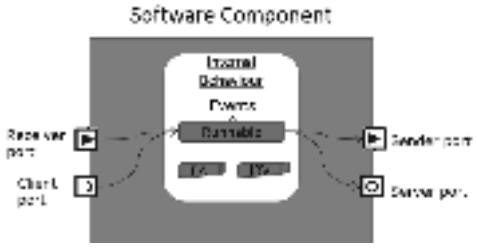


Fig. 1: AUTOSAR software component

and inter-ECU information exchange. It also serves as a medium to communicate with the lower layer of architecture. The main task of RTE is to make SWCs not dependent on a specific hardware allowing focus on application development[KF09] and is generated specifically for each configuration. BSW does not have any functionality in itself. This layer is the most hardware dependent part of all the three main layers. The main task of this layer is to provide hardware independent services to the upper layers. BSW includes many modules categorised under 5 main sections: Services, communication, ECU Abstraction, Complex Device Drivers (CDD) and the OS. Every module follows a fixed specification and provides APIs defined by AUTOSAR.[KF09] To work with AUTOSAR environment all the BSW modules need to be configured. A list of these modules can be found here [AU].

One important block from the AUTOSAR architecture for this paper is CDD. It is a mechanism or a part of AUTOSAR which comes into role when unsupported modules are to be implemented. Examples could be complex sensor and actuator control, non-standardised drivers. Software codes implemented in CDD obtain complete AUTOSAR conformance with an advantage of direct access to the hardware. However CDD must still obey RTE rules in order to communicate with other SWCs. One of the main aims of introducing CDD as a part of AUTOSAR is to provide solutions for migration from one AUTOSAR release to another. This avoids re-engineering of the complete existing application. Moreover, many hardware modules are not supported by AUTOSAR. For newer hardwares like MOST-bus or APIX2, no modules exists [DHM12]. Furthermore, the BSW modules can be accessed with very few limitations[KF09].

Figure 1 shows a typical structure of an SWC specified in AUTOSAR architecture. They contain application functionalities. The code here should follow specifications of AUTOSAR. As seen from the figure they should have a fixed structure. Ports allow external communication and the type of which must be specified using standardised interfaces. The communication defined can be achieved by using AUTOSAR specified formats in the main code. Runnables are the main executable entities which are either triggered by defined events or OS and can also be regarded as C functions. Exclusive areas (EA) are critical sections of the code. Further information about AUTOSAR SWCs can be found in the specifications [Sc15]. The structural and behavioural descriptions of SWCs are described through standard SWC descriptions, together with component code and its description, an SWC is complete.

Adding network architecture, ECU resource descriptions(abstract) and system constraints helps completing an application system architecture in AUTOSAR[Bu11] [Vo10]. This architecture has fixed specification so that it can be used to further generate RTE as well as BSW upon their configuration. Many tools exist to configure and create these layers individually.

Further information on AUTOSAR can be found here [AU].

1.2 Prototyping

Advanced driver assistance systems (ADAS) involve complex algorithms which need extensive prototyping before a final version could be released. The functionalities of such applications are mostly hardware independent and are developed on a PC platform using high level languages only to then port them to embedded systems. An example of such a system is Baselabs ADAS prototyping solution[Ba], where the algorithm is developed in C# and then converted to C. However. it still needs to be verified on a real world ECU environment for Processor-In-Loop / Hardware-In-Loop validations. The prototyping solutions also provide a generated C code after successful verification code on the PC based environment. The generated code C could then be easily integrated with embedded prototyping solutions. The code however still needs to be adapted for a specific target.

For rapid prototyping where time is an essential factor, solutions like the one provided by Baselabs prove to be very useful. With increasing popularity of AUTOSAR, rapid prototyping of ADAS applications must be done on AUTOSAR systems as well to make the ECUs AUTOSAR ready. However, due to multiple configurations and methodology[Bu11] involved in AUTOSAR, time and expert skills should be invested to make these prototypes ready since AUTOSAR adds complexity to the development process. Moreover, the C code generated by the prototyping solutions is non-AUTOSAR compliant and it needs to be adapted for integration. The focus for rapid prototyping should be on the functionality of the algorithm in itself and not on the underlying technicalities of the prototyping platform. For this purpose an automated support is needed for the complete process, from integration of non-compliant C code to the configuration and generation of AUTOSAR system specific to the provided application.

The goal of this paper is to define a method that can be used with AUTOSAR tool for automated rapid prototyping on AUTOSAR based systems. Figure 2 shows the involved steps.

Block 1 deals with taking C code and signal mapping information/network descriptions files as input to generate application system architecture along with extraction of information from provided C code for further steps. Details of the steps can be found in section 3.

Block 2 uses the system architecture and extracted information created by block 1 to generate configurations for AUTOSAR BSW specific to application provided in block 1. Block 2

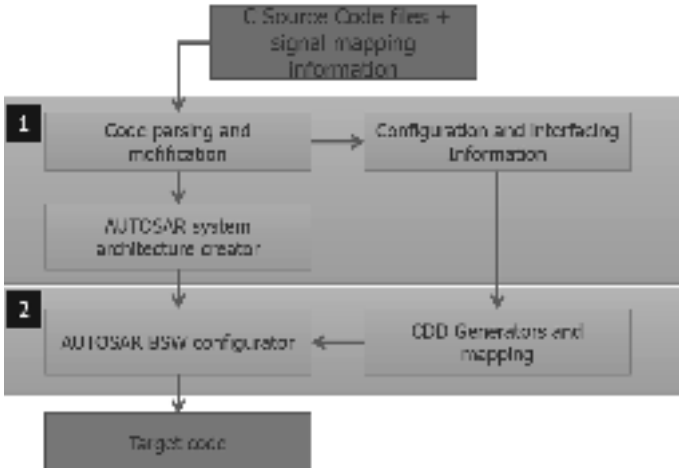


Fig. 2: Concept

also generates some BSW modules as a part of CDD. Further description can be found in section 4.

The aforementioned blocks provide support for generation of AUTOSAR system architecture, RTE and BSW which in turn are generated by tools. Our intention is not implement any AUTOSAR tools but to provide a method that can connect and automate the whole AUTOSAR methodology for a specific application. Also several templates for various descriptions of different elements in AUTOSAR already exist [AU].

2 Existing approaches

Several Model-in-Loop(PiL), Hardaware-in-Loop(HiL) and Processor-in-Loop(PiL) approaches already exist in the automotive domain. In the AUTOSAR domain methods such as Virtual Verification Platforms already exist that use a linux based HiL environment on x86 processors [DHM12]. CDDs is also extensively usage here for integration of the application layer and RTE. The prototypical code is then run on the platform under soft-real time conditions. Another very similar approach for rapid prototyping solution is shown in [MCW12].

Successful attempts have also been made to enable custom functionality in BSW while being AUTOSAR conformed [Ki13].

3 Integration with AUTOSAR

The generated non-AUTOSAR compliant C code explained in section 1 should be adopted as per AUTOSAR specification. For this the code needs to be parsed to obtain structural and behavioural information and then modified to fit AUTOSAR specifications as SWCs.

Since SWCs are very dependent, they cannot be separated just by parsing code. A thorough understanding of the logic implemented is required for its determination. Hence following the informal standard methods of programming, each C file is assumed to be as one component. Also since the functionalities of these C files are intended for automotive domain, we assume that a MISRA-C check has already been performed on them.

For parsing a source code C file, integrating it as an AUTOSAR SWC and generating its SWC description, two aspects need to be determined at first. These are the structural and behavioural aspects. Structural architecture is nothing but how the code skeleton looks like(SWC description) whereas the later is how a source code behaves during runtime(Internal behaviour).

3.1 Determining structural architecture

This consists of various static elements of the code which can be determined by parsing either header files or the C codes themselves:

- Function prototypes: These are represented as function declarations in source code. They need to be declared as Runnables in an AUTOSAR SWC.
- Data types: Declarations like structures and data types that are standard to a application, can be parsed to include them in the application system architecture. Also AUTOSAR already specifies a standard data type header file [Sc15], so duplication should be avoided. Global variables should be defined as Inter Runnable Variables(IRV) in a component and also their datatypes need to be declared in the main AUTOSAR system. Other inclusions like static or constant variables can be identified from C syntaxes to be included in the SWC description.
- Ports and interfaces: Ports and interface in AUTOSAR represent SWC-SWC, network or BSW communication. When a call to an external function or an addressing to a NW/HW communication (e.g. CAN) occurs a port can be created. The interface description is marked by the variable(s) taking part in the this communication. As one of the methods, the type of interface can be determined by checking for nested function calls. If it is the case then a sender-receiver interface can be mapped to these ports. For a different case where client-server interface is essential even if nested call is detected then it should be marked by a comment for the source code parser to determine. If a return value is expected, then this marks a need for a client-server

interface. Network communication statements like access to CAN messages require a sender-receiver interface.

- Mapping: Mappings need to be realised to standardise communication of SWCs through AUTOSAR RTE. This also configures RTE for its generation. Connection between SWC ports can be determined by detecting function calls. Signal mapping in case of network communications or IO handling in our concept is not needed since we are using application specific CDDs generated as a part of BSW. Details can be found in section 4.

3.2 Determining internal behaviour

- Data access: For each component data accesses can be determined by the variables in its function scope, the data elements of interfaces and global variables. To use features of measurement and calibration parameters, they can be mentioned through explicit comments.
- Runnable triggering: If the runnables are time triggered, then such conditions can be mentioned as part of comments in function prototypes for the parser to determine. Sender or server interfaces mapped to ports determine if triggering is needed. If there are calls internal to SWC runnable, this can be indicated as inter-runnable triggering.
- Exclusive areas: The critical sections of any program should be aware to the programmer. Hence comments can be used to mark them or directives can also be used to recognise them from a source C code.

3.3 Code adaptation

After determination of structural and behavioural properties of each source C file SWC descriptions of each component can be generated along with their mappings. However the original code still needs to modified to adapt as per the AUTOSAR specification. The adaptation involve the following:

- Inclusion of RTE headers:
  #include RTE_SWCname.h
- Replacement of external functional calls, Network/Hardware accesses by RTE statements
  RTE_Read_SWCname_portname_interfacename (&variable)
- Renaming of function names
  void SWCname_func1()
- Declaration of extra variables needed for RTE access.

```
void func1();
void func2();

uint8 globalVar;

void func1()
{
uint8 datatype1;
uint32 datatype2;
can_receive(datatype1); /* dbc signal1 */
component_call(datatype1,datatype2);
/* program code */
can_send(datatype2); /* dbc signal2 */
}

void func2(uint8 param1)
{
/*program code*/
func1();
/*exclusive area*/
/*program code*/
/*exclusive area end*/
}
```

Fig. 3: Sample non-AUTOSAR compliant C code

- Inclusion of RTE acknowledgements.
  e.g. *status = E_OK*
- Marking Exclusive areas in code.
  void Rte_Enter_uniquename ();
  void Rte_Exit_uniquename ();

The specification of RTE can be found here [Sc15]. However the formatting rules of these statements in our concept are incorporated in the parsing tool which can be easily adapted in case of a version change.

Figure 3 shows a typical implementation of functional codes in one C file. For better explanation, information that can be extracted from just this code are :

- Runnables: func1() and func2()
- Gobal variable(IRV): globalVar
- Ports: CAN message send and receive, external function call(component_call)
- interfaces: 2 sender-receiver interfaces from CAN communication, one client-server

or sender-receiver (can be determined through checking the other component) for component_call function.

- Exclusive area marked in func2()
- inter-runnable trigger to func1() from func2()
- a receive-event(data available) trigger for func1()

Once a successful parsing of all the component source codes has been carried out, SWCs and their mappings can be generated in any application layer AUTOSAR tool through its API invocations. Further import of network configuration files enables determining the topology to generate the system. The extracted information is also helpful for configuration of BSW which is explained in section 4.

4 Configuration of BSW and generation of application specific CDDs

On a successful set up of application layer tools, system description including ECU descriptions (using AUTOSAR standard template or if provided by tool) can be generated, which can be used in a BSW/RTE generator tool after system import. The descriptions are again generated in AUTOSAR standard formats that enable transferability. RTE at this point should be already configured by any tool that is able to import standard AUTOSAR system description. For configuration of AUTOSAR BSW, only the necessary modules are considered and the configurations of which are portable and directly affected by application specifics. The extracted information from integration process helps in creation of OS tasks where runnables can be mapped. In case of time triggering, OS alarm also needs should be set up. Initialisation functions can either be included as OS init tasks or added to SCHM (BSW module : Schedule Manager). Detection of such functions must be explicitly mentioned in comments for the parser to detect and extract this information.

Rapid prototyping platforms often are different from actual target hardware. Hence not all BSW configurations can actually be carried forward to the final realisation of application. Hence dynamic configurations like communication drivers, IO access etc., where changes in application creates an impact on the whole BSW stacks, we have used a concept that generates specific BSW for the application. in CDD. By using this approach, minimalistic and optimised drivers for HW abstraction can be used. The application layer still has the advantage of running in an AUTOSAR environment on the target hardware. No changes are required in any of the application architecture configurations.

Figure 4 shows the system overview for an application with generated CDDs. Mapping information acquired through integration process in section 3 is used in generating standardised AUTOSAR interfaces to communicate with SWCs. No communication signals were mapped during the integration process, this task is done by generated CDD stack directly. Integration process also includes signal information in source code which is adapted with

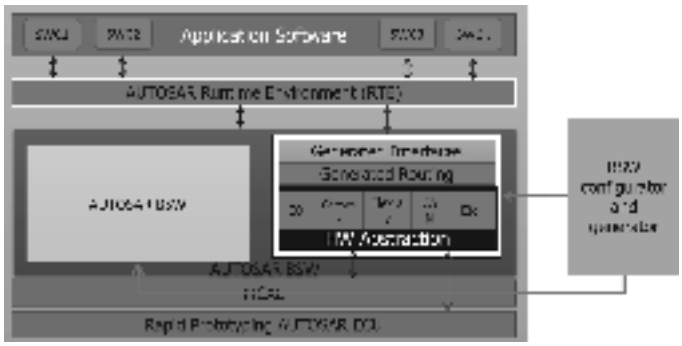


Fig. 4: AUTOSAR system overview using generated CDDs

RTE statements and thereby creating ports and interfaces in the main architecture for it. The generated CDDs use the same interfaces to read and write signal data. Information regarding the routing that is generated is acquired through standard network description files (e.g. dbc, fibex, or ldf).

Often for complex algorithms like in ADAS, many sensor data parameters need to be collected. These could also be large objects of struct type too. Generated routing eliminates the need of extra effort of SWCs/LOCs for data collection is also eliminated.

As it can be seen from the block diagram in figure 4, multiple communication protocols can be included in the CDD stack. These protocol units are generated using configuration information and they contain standardised interfaces for HW abstraction and routing. The layer consists of drivers that encapsulate micro-controller specific code and addresses which are also generated using device pertinent configuration. This layer can either be used with self implemented code or the MCAL layer provided by manufacturers can be used.

The dependencies to the AUTOSAR BSW when including such a CDD stack. Hence for which, configuration of the following BSW modules need to be generated:

- OS: configuration of AUTOSAR Interrupt service routines(ISR [Zh13]) which are used in CDD and creation of tasks that are not interrupt triggered.
- ECUM (ECU state manager): This module contains a list of driver initialisation functions. CDD stack based functions also need to be configured here.
- SCHM (Schedule manager): Main functions should be configured here.

The BSW configurator shown in figure 4 will be generating these configurations for use with any BSW tool. Ready templates which can be reused for BSW module descriptions are also provided by AUTOSAR.[KF09] For other module configurations like port that do not change based on application, templates can be used to avoid re-configuration.

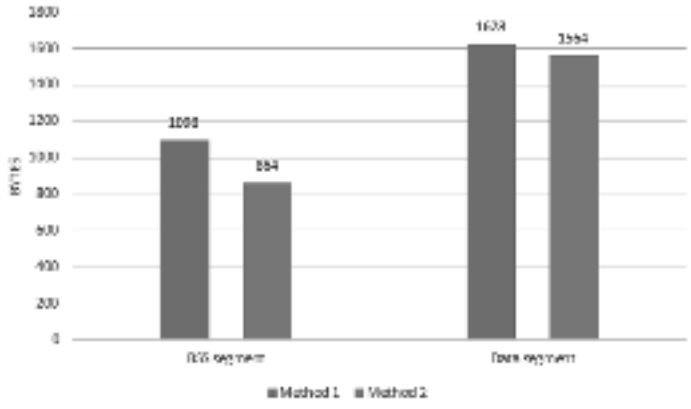


Fig. 5: Memory usage comparison chart 1

5 Implementation and results

To prove our theorised method, we have implemented a tool that performs our methods for generation of an AUTOSAR system.

For implementation, we have used a SPC560P[ST] board with compliant AUTOSAR version 3.0 application layer and BSW tools. A sensor fusion algorithm for processing raw images from a camera and ultrasonic sensor served as an application prototype. The code consisted of 1K LOC (Lines Of Code) that collects sensor data over CAN bus. The communication of CAN bus was specified using a dbc file consisting of 10 CAN signals. Verification of the processed data was done through passing over the output to a computer and thereby diagnosing it.

The generated code was checked for AUTOSAR linked errors using static test tool called ASTAS [NE16]. Upon a successful static test, the generated code was then compiled and executed on the mentioned platform.

Figure 5 and 6 show a comparison chart of .bss, code and data segment memory usages between two methods used for evaluation. As seen from the charts Method 2 was able to save much more space in all three segments as compared to Method 1.

Both the methods use the same application code. Method 1 was implemented by manually adapting and modifying code to integrate it in AUTOSAR environment, thereby also making complaint and using tools manually create a complete system for the respective application. Necessary AUTOSAR BSW modules including CAN stack were used. Method 2 was implemented using theorised concept. For this, AUTOSAR CAN stack was not included thereby replacing it with CDD concept mentioned in section 4.

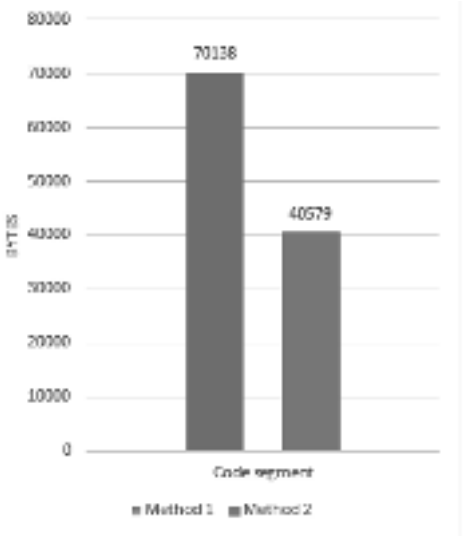


Fig. 6: Memory usage comparison chart 2

6 Conclusion

A concept for automating AUTOSAR based rapid prototyping is successfully theorised and implemented. Automation steps for integration of non-AUTOSAR compliant C code, configuration of related BSW and generation of application specific CDDs have been defined and implemented. The only required inputs included C source code files with some additional comments and network description files.The concept integrates provided C source code files within AUTOSAR system by modifying them and generating an application system architecture. Configurations for BSW modules that have direct impacts from application were done automatically. The generated CDDs are application specific, version independent and exist as a part of BSW directly interfaced with the main application SWCs. For implementation of Method 1, AUTOSAR skills and knowledge is required. However for Method 2, just basic knowledge is required and the complete implementation process takes about just a few minutes thereby reducing time and effort considerably. The theorised concept helps running a prototypical code on a real world ECU with an AUTOSAR conformed application, and hence enabling PIL validations. Furthermore, memory consumption is greatly reduced to accommodate more application components and still providing the needed environment. Since generated BSW configurations, application architecture and the modified code are according to AUTOSAR standards, they can be further reused in next development stages. The CDD stack is also usable apart from rapid prototyping in cases where driver optimisation or special drivers are needed.

References

[AU] AUTOSAR, "Platforms ". www.autosar.org/standards/classic-platform, Web. 11 June 2017.

[Ba] Baselabs, "Baselabs GmbH". www.baselabs.de, Web. 25 June 2017.

[Bu11] Bunzel, Stefan: Autosar–the standardized software architecture. Informatik-Spektrum, 34(1):79–83, 2011.

[DHM12] Deicke, Markus; Hardt, Wolfram; Martinus, Marcus: Virtual Validation of ECU Software with Hardware Dependent Components Using an Abstraction Layer. In: Simulation und Test für die Automobilelektronik. Expert Verlag, pp. 181–188, 2012.

[Fü10] Fürst, Simon: Challenges in the design of automotive software. In: Design, Automation & Test in Europe Conference & Exhibition (DATE), 2010. IEEE, pp. 256–258, 2010.

[KF09] Kindel, Olaf; Friedrich, Mario: Softwareentwicklung mit AUTOSAR: Grundlagen, Engineering, Management in der Praxis. dpunkt Verlag, 2009.

[Ki13] Kim, Taeho; Maeng, Ji Chan; Yoon, Hyunmin; Ryu, Minsoo: Understanding and Extending AUTOSAR BSW for Custom Functionality Implementation. In: Multimedia and Ubiquitous Engineering, pp. 1057–1063. Springer, 2013.

[MCW12] Martinus, Marcus; Cutura, Zoran; Würz, Thomas: A Solution for Virtual Integration and Reusability of Software in Infotainment Systems. ATZelektronik worldwide, 7(1):42–45, 2012.

[NE16] Norbert Englisch, Roland Mittag, Felix Hänchen Owes Khan Alejandro Masrur Wolfram Hardt: Efficiently Testing AUTOSAR Software Based on an Automatically Generated Knowledge Base. In: 7th Conference on Simulation and Testing for Vehicle Technology. pp. 87–97, May 2016.

[Ro11] Roebuck, Kevin: Encryption: High-impact Strategies-What You Need to Know Definitions, Adoptions, Impact, Benefits, Maturity, Vendors. 2011.

[Sc15] Scheid, Oliver: AUTOSAR Compendium: Part 1 - Application & RTE. dpunkt Verlag, 2015.

[ST] ST Electronics, "RM0022 Reference Manual". http://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/reference_manual/11/3c/05/79/a1/6a/4a/4a/CD00204027.pdf/files/CD00204027.pdf/jcr:content/translations/en.CD00204027.pdf, Web. 11 June 2017

[Vo10] Voget, Stefan: AUTOSAR and the automotive tool chain. In: Proceedings of the Conference on Design, Automation and Test in Europe. European Design and Automation Association, pp. 259–262, 2010.

[Zh13] Zhu, Longfei; Liu, Peng; Shi, Jianqi; Wang, Zheng; Zhu, Huibiao: A timing verification framework for AUTOSAR OS component development based on Real-Time Maude. In: Theoretical Aspects of Software Engineering (TASE), 2013 International Symposium on. IEEE, pp. 29–36, 2013.

KASDL – Kontext-adaptive Software in Digitalen Lebenswelten

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 1589

KASDL - Kontext-adaptive Software in Digitalen Lebenswelten

Dirk Habich[1], Sebastian Götz[2]

1 Zusammenfassung

Das Ziel des KASDL-Workshops ist einen interdisziplinären Diskurs zwischen den Sozialwissenschaften und der Informatik, insbesondere der Software-Community zu adaptiven und kontext-abhängigen Softwarearchitekturen zu initiieren. Adaptive Systeme, wie z.B. Fitnessarmbänder, durchdringen mittlerweile die Lebenswelt eines Großteils der Bevölkerung. Hierdurch entsteht die Notwendigkeit, das Spannungsfeld zwischen dem technisch Möglichen und dem gesellschaftlich Gewünschten näher zu betrachten. Ebenso stellt der schnelle technische Wandel die Sozialwissenschaften, im Speziellen die Soziale Arbeit, vor neue Chancen und Herausforderungen (z.B. der Einsatz neuer adaptiver, kontext-abhängiger Systeme in sozialarbeiterischen Methoden). Die Informatik 2017 mit dem Leitthema *Digital Kulturen* bietet den idealen Rahmen für einen derartigen Workshop, um diesen interdisziplinären Diskurs zu beginnen. Im Rahmen des Workshops wird ein Überblick über den Stand der Forschungsgebiete präsentiert und Chancen sowie Herausforderungen diskutiert werden. Die Durchführung des Workshops erfolgt fachübergreifend, so das sowohl Sozialwissenschaftler als auch Informatiker, die sich rund um das Thema Kontextadaptivität beschäftigen, einen entsprechend Beitrag leisten werden.

Die eingereichten Beiträge wurden klassisch durch ein fachübergreifendes Programmkommittee begutachtet. Ergänzt werden die angenommenen Beiträge durch eingeladene Vorträge, sowohl aus dem Bereich der Informatik als auch dem Bereich der Sozialwissenschaften. Der Ganztagsworkshop wird mit einem Panel abgeschlossen, wo die Ergebnisse des Tages nochmals kritisch zusammengetragen und diskutiert werden. Das Organisationsteam beschäftigt sich sehr intensiv mit Kontext-sensitiven Softwarearchitekturen im DFG-finanzierten Graduiertenkolleg RoSI.

[1] Technische Universität Dresden, Professur für Datenbanken, Nöthnitzer Str. 46, 01187 Dresden, Germany
dirk.habich@tu-dresden.de
[2] Technische Universität Dresden, Professur für Softwaretechnologie, Nöthnitzer Str. 46, 01187 Dresden, Germany
sebastian.goetz1@tu-dresden.de

doi:10.18420/in2017_158

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 1591

Measuring the Capability of Smartphones for Executing Context Algorithms

Dennis Kroll[1] and Klaus David[2]

Abstract: While the rise of context aware apps remains, the question arises whether algorithms for context processing can be applied to any smartphone and for any user. In this paper, we propose to test context algorithms for each specific smartphone, user, and situation to which a context algorithm is applied. Towards this, we present our framework which automatically measures all relevant information about an app´s runtime properties, i.e. resource utilization and the time taken to process sensor values by a context algorithm. Both information can be automatically returned to the app developers in order to improve the app. We implemented the framework on Android and tested it using the example of a state-of-the-art context algorithm to find out whether our test smartphone is capable of running the context algorithm without delays and deadlocks.

Keywords: smartphones, apps, context awareness, context algorithms, evaluation, usability

1 Introduction

The first device which was called a smartphone and which was available to the public was the *IBM Simon* in the year 1994. With a price of about 900 $, it came with a touch screen and served basic applications such as calendars, calculators, and an email application. After the first smartphones were developed, the trend has kept rising during the last two decades. Nowadays, smartphones are the daily companion of a large fraction of people worldwide. In 2016, the global population was 7.39 billion, and 2.1 billion of them already owned a smartphone. This means about 30 % of the global population are smartphone owners. This is not surprising, since nowadays smartphones are often at low cost and come with a variety of useful features. Modern apps connect billions of people via social media, enable secure online banking, some apps are even aware of their users´ contexts. Context, as defined by A. K. Dey et. Al., is “any information that can be used to characterize the situation of an entity.” [Ab99]. The entity can be a smartphone user, and examples for user contexts are the user´s location or activity. More and more apps are aware of such contexts: A fitness app is aware of the activities its user does; An Ambient Assisted Living app detects and reacts when its user falls, and so on. There are two basic requirements for supporting context aware apps on smartphones. First, sensors such as accelerometers, magnetometers, and compasses are required. These sensors measure information about the user´s activity and environment. Secondly, a processor and memory is required to apply

[1] University of Kassel, Chair for Communication Technology, Wilhelmshöher Allee 73, 34121 Kassel, dennis.kroll@comtec.eecs.uni-kassel.de
[2] University of Kassel, Chair for Communication Technology, Wilhelmshöher Allee 73, 34121 Kassel, david@uni-kassel.de

doi:10.18420/in2017_159

context algorithms to sensor data. Context algorithms input sensor values, process them and interpret them as contexts. Those algorithms consist of several steps, i.e. value pre-processing, feature extraction, context classification and context prediction. Note that context algorithms do not nessesarily consist of all of these steps, and a concrete step implementation varries for different algorithms. In earlier days, smartphones were mainly used for data acquisition. The acquired data was not directly processed by a context algorithm on the smartphone up to the smartphones´s little processor and memory performance. Instead, data was transferred to a server with higher ressource performance. Context algorithms were then applied at the server´s side. Modern smartphones gained much ressource performance what makes the transmission of data to external computers often unnessesary. However, when applying context algorithms on smartphones, the question arises whether context algorithms can be applied to any smartphone, in any situation and for any user. While app developers test and adjust their apps in limitted test environments, they cannot reproduce any situation to which an app might be applied. In real world conditions there is a high number of different devices and users, and innumerable situations. In some cases, an app might lead to problems such as delays or deadlocks of a smartphone´s operating system. Thus, during the development of an app, it is not possible to make a prognosis of the general feasibility of using a context algorithm in a smartphone. One option to get user and smartphone specific feedback is to lookup app ratings at app suppliers such as the Google Play Store or the Apple App Store. Unfortunately, it takes time till ratings are created, and ratings are often more general (such as “the app doesn´t work well”) what makes it hard for developers to spot problems. Therefore, we propose to test context algorithms in the real world for each specific smartphone, user, and situation to which the algorithm is applied. Towards this, in this paper we present our framework which automatically measures all relevant information about the utilized ressources and the times taken to process sensor values by a context algorithm. This information can be returned as feedback to the app developers and can be used to further improve the app. We implemented our framework on the mobile operating system Android and tested it using the example of a state-of-the-art context algorithm to find out whether our test smartphone is capable for executing the algorithm without delays and deadlocks. The contributions of this paper are: 1. explaining how we measure a smartphone´s capability for executing a context algorithm; and 2. presenting and using our framework to evaluate the capability of a specific smartphone to execute a specific context algorithm.

2 Related Work

For the evaluation of several context algorithms, meaningful information about a smartphone´s capability for executing context algorithms were measured, i.e. resource utilization and processing times for sensor values. In [Be10], a service for recognizing activities on mobile phones is presented. To answer the question of capability, the authors preliminary measured the CPU utilization when running and when not running an algorithm. The authors of [La14] present an extended version of *BeWell*, a mobile app to

measure a person´s wellbeing. As a part of the app´s evaluation, the battery drain when running their algorithm on different smartphones was analyzed. In [Kj12], another study on battery drain is presented. The authors focused on building low-power location-based services and analyzed the power consumed by GPS, Wi-Fi, and other sensors which can be used for localization. Besides the energy consumption and the resulting battery drain, the authors of [Re10] also investigated the memory utilization of mobile phones which run an context algorithm. In [LL12], a mobile platform for real-time human activity recognition is presented. The authors not only investigated resource utilization, but also the *response time* which is the time their test smartphone needed to process the pre-processing, feature extraction, and context classification steps of their algorithm. The main difference of the above approaches and the framework presented in this paper is that our framework automatically measures complete and detailed runtime information without requiring any user action. Furthermore, our framework is not limited to the app development process, but can also be applied after an app was released. This allows to evaluate context algorithms on the user´s side, and thus, beyond any situations which could be reproduced in a test environment.

3 Measuring the Capability of Smartphones for Executing Context Algorithms

To find out whether a smartphone is capable for executing a context algorithm, our framework answers two questions: 1. How much CPU, memory, and battery is utilized? and 2. How much time takes it to process sensor values? The results of the first question indicate whether a user can use a smartphone as usual. Otherwise, if the CPU utilization is at maximum for a longer duration, the smartphone will no more response to the user´s commands swiftly. The same effect appears when the memory runs full since the CPU is then busy with managing and shifting data from one memory (RAM) to the other (hard disc) and back. The third resource, the battery level, indicates how long the smartphone will operate. From this information it turns out whether the operation time of a smartphone is still sufficient when executing a context algorithm. From the second question one can find whether the smartphone is able to process sensor values swiftly. Otherwise, when the processing takes too long, new sensor values might be sampled faster than they can be processed. In this case, a context algorithm does no more operate in real time. Furthermore, a delay in processing times will get larger with time. We measure processing times separately for each step of a context algorithm in order to ease searching faults, if any.

The design of our framework is presented in Fig. 1. At the right side, a user who can interact with an app which contains a context algorithm is shown. At the left side, important hardware components are shown, i.e. the sensor(s) to sample sensor values, and the smartphone´s storage to write measurement results. The middle component is our framework, or “Measurement-App” since it is an app itself.

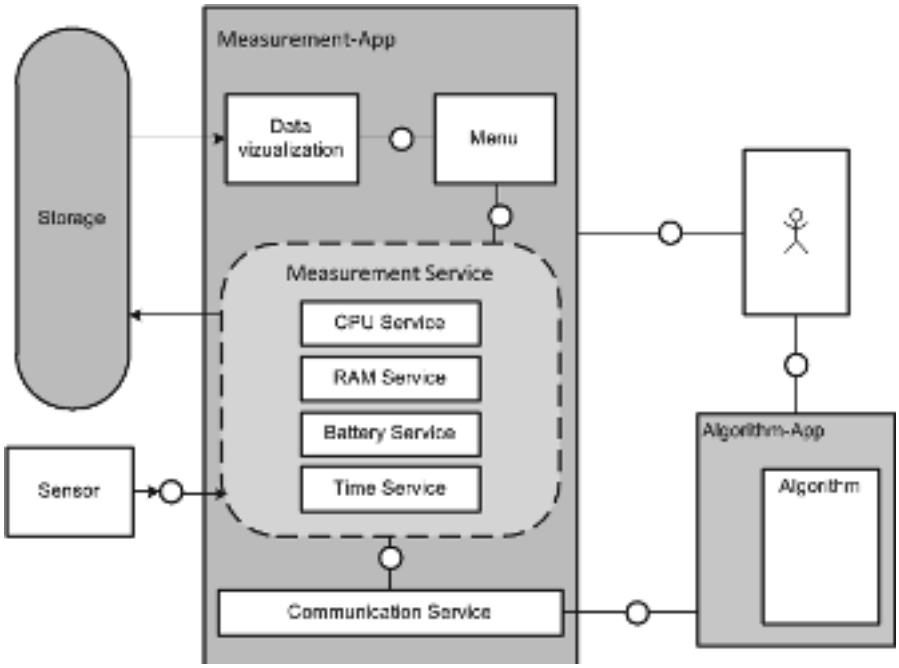


Fig. 1: Component diagram of our framework

The components of the Measurement are:

- **Communication Service:** This service forwards sensor values to the Algorithm-App. The Algorithm-App in turn reports when values are processed. While the Measurement-App is static, the Algorithm-App must implement a simple, pre-defined interface to enable the communication.
- **Measurement Service:** This service encapsulates the three services which log the resource utilization and one service which logs the sensor value processing durations.
- **Menu:** A graphical user interface through which a user could start and stop measuring both, properties when the Algorithm-App is running and properties when the smartphone is in idle mode. These user functions are optional and can be triggered automatically as well.
- **Data visualization:** Users can quick-analyze the measurement results themselves. This is optional since the framework was designed to transfer measurements to the app developers, of course only in case that the user permitted this.

4 Prototype and Experiments

We implemented our framework as Android OS application. For experiments, we used our framework to test a context aware app which runs the context algorithm *Implicit Positioning* [KKD16]. This algorithm analyses compass values of a smartphone carried by a person and finds, learns, and recognizes patterns in it. Our experiments results answer whether our test smartphone, a Samsung Galaxy S5, is capable for execution if the sensor sampling rate is 5 Hz. Our framework did a one-hour measurement while *Implicit Positioning* was running, and one while it was not running. In Fig. 2., the resource utilization for both cases is compared. First, the raw and filtered CPU utilization is shown. The CPU is utilized about 30 % more when *Implicit Positioning* is running. However, a CPU utilization about 60 % does not influence the smartphone usability. The memory utilization stays more or less constant and is similar in both cases. This shows that Implicit Positioning does not utilize much memory. Lastly, the battery drain is compared. As expected, the battery drains more when Implicit Positioning is running. From these results one can say that Implicit Positioning works in real-time, but consumes more energy. Next, we analyzed the processing times which are concluded in Tab. 1. Often, the processing

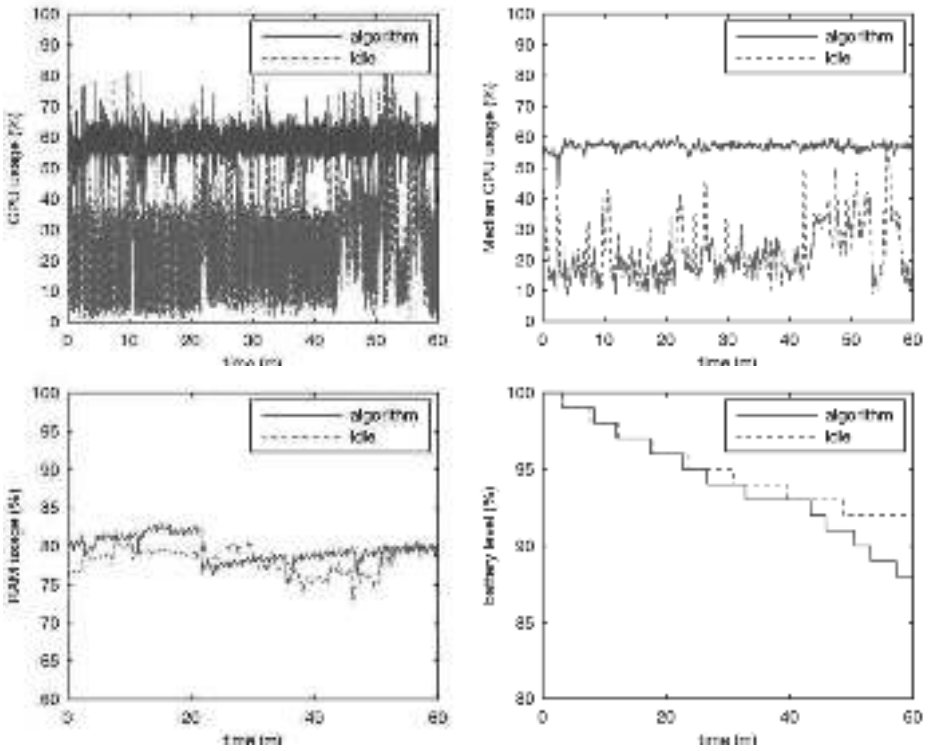


Fig. 2: Resource utilization for a smartphone in idle mode and while running the context algorithm *Implicit Positioning*

times were shorter than 1 ms and rarely longer than a couple of milliseconds. However, neither the longest nor the delta processing times are longer than the timespan between two sensor readings which is 200 ms. This means, that Implicit Positioning processes all steps much faster than the compass sensor is sampled, and no delays appear.

	Shortest processing duration (ms)	Longest processing duration (ms)	Delta
Pre-processing	0 ms	168 ms	3 ms
Feature Extraction	0 ms	8 ms	1 ms
Context Classification	0 ms	7 ms	1 ms

Tab. 1: Sensor value processing durations for steps of the context algorithm *Implicit Positioning*

5 Conclusion

In this paper, we presented our novel framework for measuring the capability of smartphones for executing context algorithms. We explained that both resource utilization as well as processing times of sensor values are important indicators for capability evaluations. We implemented our framework on Android OS and tested it with a context algorithm in order to find out whether our test smartphone is capable of running the context algorithm without delays and deadlocks.

References

[Ab99] Abowd, G. D.; Dey A. K.; Brown P. J.; Davies N.; Smith M.; Steggles P.: Lecture Notes in Computer Science - Towards a Better Understanding of Context and Context-Awareness, vol. 1707, 1999, Berlin, Germany.

[Be10] Berchtold M.; Budde M.; Gordon, D.; Schmidtke H. R.; Beigl M.: ActiServ: Activity Recognition Service for mobile phones. In Proc. of the 14th Int. Symp. on Wearable Comp., Seoul, South Korea, pp. 1–8, 2010.

[Kj12] Kjasrgaard M. B.: Location-Based Services on Mobile Phones: Minimizing Power Consumption. In IEEE Perv. Comp., vol. 11, no. 1, pp. 67–73, 2012.

[KKD16] Kroll D.; Kusber R.; David K.: Implicit Positioning Using Compass Sensor Data. In Proc. of the Int. Conf. on Perv. and Ubiquitous Comp., pp. 732–741, 2016.

[La14] Lane N. D. et.al.: BeWell: Sensing Sleep, Physical Activities and Social Interactions to Promote Wellbeing. In Proc. of Mob. Netw. Appl., vol. 19, no. 3, pp. 345–359, 2014.

[LL12] Lara O. D.; Labrador M. A.: A Mobile Platform for Real-Time Human Activity Recognition. In IEEE Consumer Commun. and Netw. Conf., pp. 667–671, 2012.

[Re10] Reddy S.; Mun M.; Burke J.; Estrin D.; Hansen M.; Srivastava M.: Using Mobile Phones to Determine Transportation Modes. In ACM Trans. Sens. Netw., vol. 6, no. 2, pp. 1–27, 2010.

ITG-SIM – IT-Governance und Strategisches Informationsmanagement

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 1599

IT-Governance und Strategisches Informations-management (ITG-SIM)

Daniel F. Abawi[1], Matthias Goeken[2] und André Miede[3]

Die verlässliche sowie effektive und effiziente Gestaltung und Steuerung der IT ist für viele Unternehmen und Organisationen sowohl aus regulatorischen Gründen als auch zur Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit und zur Sicherung eines Beitrags der IT zum Unternehmenserfolg heute wichtiger als in der Vergangenheit. Hinzu kommt die Notwendigkeit, die IT an den aktuellen Trends der Gestaltung und Entwicklung komplexer IT-Systeme auszurichten und dabei auch neu aufkommende Technologien und Anwendungen im Sinne der Unternehmensziele zu nutzen. Verbunden mit diesen Aspekten – aber über sie hinausgehend – ist eine informationszentrische Sichtweise, die nicht die IT als Organisation oder Anwendungen und Technologien in den Mittelpunkt stellt, sondern den Vermögensgegenstand Information. Die unterschiedlichen Sichten und die mit ihnen zusammenhängenden Fragestellungen sollen Gegenstand des Workshops sein.

Die IT-Governance definiert in diesem Zusammenhang Strukturen, Prozesse und weitere Mechanismen, die darauf abzielen, Unternehmensziele und IT-Ziele abzustimmen und die konkreteren Ziele – Sicherung des Wertbeitrags sowie Planung, Steuerung und Kontrolle von IT-Compliance, IT-Risiken und IT-Sicherheit – zu realisieren. In diesem Umfeld führen auch die Planung, Steuerung und Kontrolle der Systemlandschaft und das Zusammenspiel mit der fachlichen Seite zu neuen Herausforderungen. So stellen Trends wie „Mobile“, „Cloud“, „Internet of Everything“ etc. Anforderungen sowohl in technischer Hinsicht als auch mit Blick auf Governance und Management der Unternehmens-IT. Unter dem Begriff „Information Governance“ rücken darüber hinaus Themen wie Informations- und Datenqualität und Master Data Management aber auch Information Privacy und ethische Fragen ins Blickfeld. Im Workshop sollen vor diesem Hintergrund auch grundsätzlichere Fragen beleuchtet und diskutiert werden.

Im Workshop werden aktuelle Forschungsarbeiten einschließlich „Work in Progress“ zum Themenkomplex IT-Governance, Information Governance sowie dem strategischen Informationsmanagement vorgestellt und diskutiert. Der Workshop gibt auch Teilnehmern aus der Praxis die Möglichkeit, von ihren Erfahrungen zu berichten.

[1] Hochschule der Deutschen Bundesbank, Schloss, 57627 Hachenburg, matthias.goeken@bundesbank.de
[2] Hochschule für Technik und Wirtschaft des Saarlandes, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften, Waldhausweg 14, 66123 Saarbrücken, daniel.abawi@htwsaar.de
[3] Hochschule für Technik und Wirtschaft des Saarlandes, Fakultät für Ingenieurwissenschaften, Goebenstraße 40, 66117 Saarbrücken, andre.miede@htwsaar.de

doi:10.18420/in2017_160

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 1601

Methoden zum Management der IT-Komplexität – eine strukturierte Literaturanalyse

Marie Gruber [1], Jörg Hoffmann [2] und Jürgen Karla [3]

Abstract: Wachsende Informationssysteme (IS) gehen oft einher mit einer wachsenden IT-Komplexität, weil sich heterogene IT-Landschaften über Jahre hinweg zu einem Flickenteppich entwickeln [Han11]. Diese Entwicklung bringt steigende IT-Kosten und Abhängigkeiten mit sich, die die Wartung und Entwicklung der IT-Landschaften behindern. Der Artikel beleuchtet die aktuelle Literatur über Methoden zum Management von IT-Komplexität mit der Methodik eines Literaturreviews. Da die Definitionen von IT-Komplexität in der Literatur weit auseinandergehen, wird eine Herleitung und eine Definition aufgestellt. Außerdem werden die Ergebnisse des Literatur-Suchprozesses vorgestellt. Danach folgt eine Diskussion und Synthese der Literatur sowie ein Ausblick auf weitere Forschungsfelder.

Keywords: IT-Komplexität, IT-Heterogenität, Literaturanalyse, Informationssysteme

1 Einleitung

Das Zeitalter der Digitalisierung stellt Unternehmen vor immer neue Herausforderungen bezüglich der eingesetzten Informationstechnologien (IT). Vor einigen Jahren konnten Unternehmen sich durch den Einsatz von IT einen Wettbewerbsvorteil gegenüber weniger technologisierten Unternehmen sichern. Heute kann ein solcher Wettbewerbsvorteil nur über einen effizienten IT-Einsatz erreicht werden [Mie04]. Doch diese Handhabung gestaltet sich als immer schwieriger, weil die über Jahre hinweg integrierte IT zu einem Flickenteppich-System [Han11] mit hoher IT-Komplexität führt, dessen Kontrolle sich für viele Unternehmen zu einem großen Problem entwickelt hat.

Neue Applikationen und Systeme werden Altsystemen hinzugefügt ohne dabei Altsysteme abzuschalten. Dadurch entstehen immer mehr Schnittstellen und Abhängigkeiten, die das Gesamtsystem auf Dauer unflexibel und unübersichtlich werden lassen. Als weitere Treiber dieser Komplexität können die Erweiterung der Produktvarietät [CDS91]; [FK99], die vielen verschiedenen Systeme und Technologien [Moa15]; [Mur04] und steigende Geschäftsanforderungen [MEM10] genannt werden. Durch eine damit entstehende Inflexibilität kann nicht mehr schnell auf Anforderungen

[1] Hochschule Niederrhein, Wirtschaftswissenschaften, Reinarzstraße 49, 47805 Krefeld, marie.gruber@stud.hn.de
[2] FIR e.V. an der RWTH Aachen, Informationsmanagement, Campus-Boulevard 55, 52074 Aachen, joerg.hoffmann@fir.rwth-aachen.de
[3] Hochschule Niederrhein, Wirtschaftswissenschaften, Reinarzstraße 49, 47805 Krefeld, juergen.karla@hs-niederrhein.de

doi:10.18420/in2017_161

reagiert werden, was aber in der sich schnell ändernden Geschäftswelt unerlässlich ist, um Kunden zu gewinnen und zu halten sowie im starken Wettbewerb mithalten zu können. Doch die bestehende und wachsende Komplexität alleine ist nicht das einzige Problem der digitalisierten Unternehmen. Die Kosten für den Betrieb und die Wartung der IT-Landschaft steigen gleichsam mit der Komplexität. Unternehmen fehlt oftmals das entsprechende Fachwissen, um diese Probleme anzuvisieren und zu beheben [SHG17].

Unternehmen sind sich dieser steigenden IT-Komplexität bewusst und versuchen mittels Standardisierungen, Modularisierungen oder Plattform-Lösungen in der IT dieser entgegenzuwirken. Um herauszufinden, wie sich das Forschungsgebiet der IT-Komplexität in den letzten Jahren entwickelt hat und welche weiteren Schritte zukünftig unternommen werden müssen, wird dieses Themengebiet auf Basis einer strukturierten Literaturanalyse untersucht. Vor diesem Hintergrund lassen sich zwei Forschungsfragen ableiten:

(1) Welche Methoden und Modelle zur Steuerung, Darstellung und Messung von IT-Komplexität bestehen bereits?

(2) Wie stellt sich die Anwendbarkeit der identifizierten Methoden in Unternehmen dar?

2 Theorie und Methode

Dieses Kapitel behandelt die theoretischen und methodischen Grundlagen für die strukturierte Literaturanalyse. Es wird hier auf den Suchprozess von [BSN09] zurückgegriffen.

2.1 Suchprozess nach [BSN09]

Der Prozess von [BSN09] wird genutzt, um eine vollständige, nachvollziehbare Literaturanalyse mit der Möglichkeit der Replikation des Suchprozesses, sicherstellen zu können. Der erste Schritt beinhaltet die Definition des Umfangs des Literaturreviews. Ist der Umfang definiert, muss das Thema spezifiziert werden. Hierfür müssen die grundlegenden Ansätze des Themas erarbeitet sowie Terme und Begriffe definiert werden. Im Themenfeld der Vorgehensmodelle zur IT-Komplexität wird insbesondere der Begriff der Komplexität historisch untersucht, um im späteren Literaturreview, relevante Artikel besser identifizieren zu können.

Nach diesen vorbereitenden Schritten kann mit der Literatursuche begonnen werden. Mit den entsprechenden Stichwortketten, die durch boolesche Operatoren konkretisiert werden, werden die relevanten Datenbanken durchsucht. Weiterhin wird mit Hilfe ausgewählter Journals eine Rückwärtssuche der darin referenzierten Literatur angestoßen. Anhand der Titel, Abstracts und Texte werden die Quellen auf ihre Relevanz für das zu

erforschende Thema evaluiert. Die exakte Erfassung ist hierbei entscheidend für die Qualität des Reviews [Bec12].

Um bei der Suche den Überblick zu behalten, wird eine Konzeptmatrix erstellt. Diese stellt in übersichtlicher Art und Weise, die Quellen mit den Kernaussagen, Konzepten und Ideen dar. Ist die Literatursuche abgeschlossen, wird mit der Synthese und Diskussion der herausgearbeiteten Konzepte begonnen. Anschließend erfolgen die Vorstellung der Ergebnisse und die Beantwortung der Forschungsfrage.

2.2 Taxonomie nach [Coo88]

Der Rahmen des Literaturreviews wird mit Hilfe des morphologischen Kastens von [Coo88] festgelegt (Tabelle 1). Schräg schraffierte Felder zeigen die Primärziele der Analyse, wohingegen die senkrecht schraffierten Felder als Sekundärziele angesehen werden.

Eigenschaft	**Ausprägung**			
Zielgruppe	**Fachleute**	**Wissenschaft**	Praxis/Politik	Öffentlichkeit
Perspektive	**Neutrale Darstellung**		Einnahme einer Position	
Fokus	Ergebnisse	**Methoden**	**Theorien**	Anwendung
Abdeckung	Vollständig	**Vollständig selektiv**	Repräsentativ	Zentral
Ziele	Integration	Kritisieren		**Identifikation**
Organisation	Historisch	Konzeptuell		**Methodisch**

Tab. 1: Taxonomie nach [Coo88]

Im Hinblick auf die Forschungsfrage (1) ergeben sich als *Zielgruppen* IT-Fachleute, sowie die Wissenschaft, die diese Analyse als Ausgangspunkt für die Ermittlung neuer Forschungsfelder nutzen kann. Die Auswahl der Zielgruppe beeinflusst ebenfalls die *Perspektive* der Analyse. Die Analyse wird in einem neutralen Schreibstil verfasst.

Die Eigenschaft des *Fokus* bezieht sich auf das Material, das bei der Recherche betrachtet wird. Durch die Forschungsfrage definiert, sind die Primärziele dieser Analyse Methoden und Theorien. Methoden umfassen dabei (Vorgehens)modelle zur Beherrschung, Steuerung oder Darstellung der IT-Komplexität.

Das Thema der IT-Komplexität ist ein relativ neues Themenfeld [Bee14], dem ein einheitliches Komplexitätsverständis fehlt [Sch17]. Um diesen Bereich weiter ausbauen zu können und weitere Forschungsfelder erschließen zu können, muss die *Abdeckung* der Literaturanalyse vollständig durchgeführt werden.

Das primäre *Ziel* der Literaturanalyse ist die Identifikation von zentralen Ideen, Theorien und Methoden, die in der Vergangenheit untersucht wurden und relevant waren. Aus der Analyse der Literatur ergibt sich, welche Fragestellungen zum Thema der IT-Komplexität zukünftig relevant sein könnten. Überdies stellt die Integration ein Sekundärziel der Arbeit

dar.

Die *Organisation* stellt die letzte Eigenschaft dar. Gemäß der Forschungsfrage, werden in der Literatur in erster Linie Vorgehensmodelle, Methoden und Theorien gesucht, sodass die Organisation der Literaturanalyse methodisch angegangen wird. Gleiche oder ähnliche Methoden und Modelle werden hierzu gruppiert, analysiert und diskutiert. Als Sekundärziel ist eine gleichzeitige historische Organisation vorgesehen.

2.3 IT-Komplexität

Die Forschung bezüglich der Komplexität entwickelte sich aus der Systemtheorie und der allgemeinen Komplexitätstheorie, die bereits 1956 von Ashby und ab 1970 von Luhmann untersucht wurden. Im Ashbyschen Gesetz formuliert der Autor, dass „only variety […] can destroy variety“ [Ash56] und beschreibt damit, dass die Varietät der Steuerung mindestens so groß sein muss, wie die Varietät der Störung. Übertragen auf die Komplexität bedeutet dies, dass ein System mit gegebener Komplexität nur mit einem mindestens ebenso komplexen System beherrscht werden kann. Erweiternd kann Luhmanns Beschreibung der sozialen Komplexität, die durch die Anzahl der Elemente und deren Verknüpfungen sowie Beziehungen zueinander definiert wird, auf das Thema der IT-Komplexität übertragen werden, denn die Digitalisierung treibt die Vernetzung von Elementen und Systemen immer weiter voran.

[Dur07] bezeichnet diese Entstehung von Komplexität als strukturell begründet, weil durch den technologischen Fortschritt immer neue Hard- und Software hinzugefügt wird, ohne für eine Entfernung der alten Elemente zu sorgen. Dadurch erhöhen sich die Verbindungen und Schnittstellen. [Sch05] beschreibt komplexe Systeme ergänzend mit zwei Eigenschaften: (1) die Elemente in dem System können nicht mehr miteinander verknüpft werden und außerdem (2) herrscht Unvorhersehbarkeit, weil nicht abgeschätzt werden kann, was passieren wird und die Möglichkeiten sind zu umfangreich [Sch05].

[Bee14] kommt zu dem Ergebnis, dass die allgemeine Komplexitätstheorie intensiv untersucht worden ist, die Literatur zur IT-Komplexität sich allerdings erst seit 2009 entwickelte. Dies unterstreicht auch [Sch17] mit seiner Forderung nach einem auf alle Ebene der Informationssystemlandschaft anwendbaren Konzept der Komplexität. Im Weiteren soll folgende Definition des Begriffs verwendet werden:

IT-Komplexität *beschreibt die Komplexität der Informationssystemlandschaft von Unternehmen, getrieben durch die* ***interdependente Vielfalt der Elemente*** *(z.B. Applikationen, Daten, Schnittstellen) und die* ***hohe Dynamik*** *von technologischen Entwicklungen und Anforderungen (z.B. von Fachbereichen, Kunden, Regulatoren). Durch hohe Vielfalt und Dynamik entsteht* ***diffuse Wahrnehmung*** *über die Informationssystemlandschaft, auf deren Basis Entscheidungen getroffen werden, die wiederum zu einer Erhöhung der IT-Komplexität führen können* [SHG17].

Diese Definition vereinigt die Merkmale komplexer Systeme und definiert ebenso das

konkrete System [AK98] auf welches sich die Komplexität bezieht. Die Interdependenzen der Elemente sind nicht greif- oder messbar, wodurch die Wahrnehmung der Situation undeutlich und subjektiv abhängig wird. Dies wird zudem durch die nicht Vorhersehbarkeit der Entwicklung unterstützt [Luh80]; [Sch05].

3 Literatursuche

3.1 Stichwort-, Datenbank- und Rückwärtssuche

Mittels der Stichworte aus der nachfolgenden Tabelle 2 wurden die Datenbanken und Journals nach relevanten Quellen durchsucht. Sie stellt die logischen Abhängigkeiten der bereits identifizierten Suchbegriffe dar. Gesucht wurde jeweils in Deutsch und Englisch.

	ADJ/NEAR	**(AND**	**OR)**
IT Informationssystem* Informationstechnologie	Komplexität Heterogenität Reduzierung Diversität Synergien Einfachheit	Methode Modell Konzept Theorie Vorgehensmodell	beherrsch* manag* kontroll* mess* steuer* bewert* darstell*

Tab. 2: Suchwörter für den Booleschen Operator

Verwendet werden folgende Datenbanken [Bee14]:

EBSCO host, Google Scholar, IEEE Xplore, JSTOR: Journal Storage, Mendeley, OCLC, OECD iLibrary, ScienceDirect, Springer Link, Web of Science, Wiso

	Treffer	***1.Sichtung***	***2.Sichtung***	***Irrelevante***
Google Scholar	72	16	9	63
wiso	137	26	14	123
SpringerLink	43	4	0	43
IEEE	27	5	2	25
Web of Science	53	6	1	52
EBSCOhost	9	0	0	9
OCLC	18	2	0	18
Summe	**401**[4]	**60**	**25**[5]	**334**
Rückwärtssuche	**42**	**32**	**24**	**18**

Tab. 3: Numerische Ergebnisse der Literatursuche

Die gesamten Treffer der Literatursuche beliefen sich auf **401 Quellen**. Diese Quellen

[4] Beinhaltete auch redundante Treffer
[5] Bereinigt (Ohne Redundanzen)

wurden alle nach dem gleichen Vorgehen auf ihre Relevanz untersucht. Als 1. Sichtung wird die Untersuchung des Titels und des Abstracts bezeichnet, sowie ein Aussortieren von redundanten Titeln. Wie der Tabelle 3 zu entnehmen ist, wurde die Literaturliste auf 90 Titel reduziert. In der 2. Sichtung wurden die Titel dann komplett gelesen und auf ihre tatsächliche inhaltliche Relevanz hin überprüft. Durch diese genaue Untersuchung reduzierte sich die Liste nochmals auf **49 Titel**.

3.2 Konzeptmatrix

Beim Lesen und Strukturieren der relevanten Literatur, konnten sieben Ansätze identifiziert werden, die die Inhalte der Quellen repräsentieren: *Messmethoden, Technologien, Prozesse, Standardisierungen, Architekturmodelle, Vorgehensmodelle und Handlungsempfehlungen*. Jede Quelle wurde mindestens einer der Kategorien zugeordnet.

Prozesse spielen im Zusammenhang mit Komplexitätsreduzierungen eine wichtige Rolle. [BR98]; [Feh06]; [Moc09]; [Mur04]; [GD13] stellen die Vorteile der Modellierung, der Integration und der Optimierung von Prozessen im Unternehmen dar und geben einen Einblick, wie dies umgesetzt werden kann.

Manche Autoren empfehlen den Einsatz von modernen **Technologien,** um dem Problem entgegenzuwirken. Dabei werden in der Literatur die beiden Technologien „autonomic computing" [GHS04]; [Mur04] und In-memory Datenbanken [Moa15] im Kontext des IT-Komplexitätsmanagements genannt. Erstes ist ein Trend, der insbesondere von IBM initiiert wurde. Zweites findet sich bspw. in der SAP HANA Software wieder.

Die **Messmethoden** beziehen sich auf numerische Ansatzpunkte, um IT-Komplexität zu quantifizieren. [AG04] berechnen die Komplexität von Geschäftsprozessen mit Hilfe der Entropiekennzahl[6]. Sie beweisen, dass weniger komplexe Systeme einfacher zu ändern sind und schlussfolgern, dass weniger komplexe Systeme eine höhere Agilität aufweisen. [DJ09] stellen Kennzahlen vor, die die Komponentenanzahl, die Abhängigkeiten und die Homogenität berücksichtigen. Erweitert wurde dies von [Der11], der die Werte etwas präzisiert. Allerdings beruhen einige Variablen auf Expertenschätzungen. [Moc09] hat in seinem Artikel verschiedene Typen von Komplexität identifiziert *(Interdependency, Diversity, derivation from the standard, overlap/redundancy).* Anschließend hat er Hypothesen zu den verschiedenen Typen und ihren Treibern sowie ihrem Einfluss auf das Unternehmen aufgestellt und diese anhand eines Beispiels validiert. Für diese Validierung hat er Kennzahlen zur Messung dieser Komplexitäten erhoben. Die Commerzbank hat ebenfalls die Notwendigkeit der Messung der IT-Komplexität erkannt und entwickelte in einem Projekt mit der Capco Consulting ein System [LVA12]; [LVS12]. Es werden Daten aus den Bereichen *Functions, Interfaces, Data und Technology* [LVS12] erfasst und gemessen. [SWS13]; [SWK13]; [WKT12] haben ein Modell auf Basis des Entropiemaßes zur Quantifizierung der Heterogenität von IT-Architekturen entwickelt. Ziel ist es

[6] **Entropie in der Informationstechnik** = mittlerer Informationsgehalt pro Zeichen einer Quelle oder Nachricht. Je häufiger ein Zeichen auftritt, desto geringer ist sein Informationsgehalt und umgekehrt.

demnach, das Maß zu verringern und eine homogenere IT-Architektur anzustreben. Beetz Modell soll die IT-Architekturkomplexität von großen Unternehmen abbilden. Der Autor identifizierte auf Basis der IT-Architektur, sieben verschiedene Komplexitätsarten: *Größe der IT-Landschaft, Interdependenzen, Anpassungsgrad, Redundanz, Diversität, Abweichung von Standards und das Alter.* Außerdem unterscheidet er jeweils zwischen IT-Applikationen und der IT-Infrastruktur.

[LF06] finden sich in der Kategorie der **Architekturmodelle** wieder. Sie haben die Lösung eines Autoherstellers auf den Finanzsektor übertragen. Die Idee beruht auf einer modularen Plattform, die nach verschiedenen Geschäftsbereichen aufgeteilt werden soll und dadurch die Redundanzen von Prozessen und Ressourcen verringert. Nach [Ses08] soll das IT-System in nicht-interdependente Subsysteme aufgeteilt werden (Partitioning). Das Ergebnis sind Äquivalenzklassen, deren Elemente in Bezug auf andere Subsysteme autonom sind. Anschließend wird mittels eines Algorithmus die Komplexität reduziert indem entweder Elemente der Äquivalenzklassen entnommen werden oder ganze Subsysteme entfernt werden. Im letzten Schritt müssen die einzelnen Subsysteme zu einem Gesamtsystem implementiert werden. [MWW14] stellen den Zusammenhang zwischen einer Erhöhung der Produktvarietät und der damit einhergehenden Erhöhung der Prozesskomplexität her. Diesen Zusammenhang haben auch andere Quellen bestätigt [FK99]; [CDS91]. Schafft es ein Unternehmen, die Produktvarietät zu erhöhen und gleichzeitig die Prozesse und Systeme zu vereinfachen, hat es nach Aussage der Autoren seinen „Complexity Sweet Spot“ gefunden. Um dies zu erreichen, müssen Produkt- und Prozess/Systemkomplexität voneinander abgekoppelt werden.

Das Modell von [Wie06] beruht darauf, dass die Kernprozesse eines Unternehmens einen wesentlich höheren wertschöpfenden Beitrag leisten und deshalb auch nur hier eine Reduzierung der Komplexität erzielt werden muss und diese weiterhin „die Grundlage für die IT-Strategie bilden“ [Wie06]. Es findet sich in der Kategorie der **Vorgehensmodelle** wieder. Die IT-Strategie soll mit Hilfe des St. Galler Management-Konzepts definiert werden. Es umfasst den Verzicht auf Sonderlösungen und setzt im Gegenzug auf Standardisierungen. Außerdem fördert es die Darstellung der Abhängigkeiten und Objekte und empfiehlt einen Masterplan zur Definition von IT-Maßnahmen. [Dur07] stellt ein Modell vor, das die „Architekturkonformität“ bewertet und auf dessen Basis für oder gegen die geplante Implementierung, entschieden werden soll. Ziel ist es, nur Anwendungen zu implementieren, die einen Wertbeitrag liefern. Ein Kennzahlenmodell zum Soll-Ist-Vergleich von IT-Architekturen unterstützt diese Entscheidung.

In der Kategorie der **Handlungsempfehlungen** finden sich Quellen, die allgemein die Problematik der steigenden IT-Komplexität thematisieren *(Schnittstellenmanagement, Systemintegration, Zentrale Systeme, Dezentrale Systeme, Standardisierungen, IT-Architekturen umstrukturieren, Prozesse zerlegen, automatisieren, zentralisieren, Best-of-Breed Lösungen, Outsourcing, Redundanzen entfernen, Dokumentation, Schulungen und Wissensvermittlung, IT-Organisation umstrukturieren)* aber keine konkreten Methoden oder Konzepte vorstellen, um dem Problem der IT-Komplexität im Unternehmen entgegenzuwirken. Oft handelt es sich um Schlagwörter, die kurz erklärt werden.

Die am häufigsten genannten **Standardisierungen** in der Literatur sind das Enterprise Architecture Management (EAM) und serviceorientierte Architekturen (SOA). Die Umsetzung solcher Architekturen wird oft mit Transparenz und klarer Strukturierung begründet. Einige Umfragen von [LSB11]; [BY07]; [SB11] belegen, dass EAM nur durch langfristige Umsetzung im Unternehmen einen positiven Einfluss hat und der Erfolg stark von der Reife abhängig ist. In dem Buch von [Bar10] werden ebenfalls verschiedene Ansätze vorgestellt. Das Buch dient als Implementierungshilfe. Die theoretischen Beschreibungen werden durch praxisnahe Beispiele unterstützt und weiterhin am Beispiel eines KMU präsentiert. Die Autoren plädieren für die Einführung eines EAM um u.a. die Komplexität der IT zu reduzieren. Dies darf allerdings nicht als „Allerheilmittel" angesehen werden und bedarf einer ausführlichen Planung. [Ben14] kritisiert allerdings im Gegensatz zu [Bar10]; [Han11] das klassische EAM, wegen der geringen Erfolgsaussichten und der unflexiblen Herangehensweise. Um dem entgegenzuwirken und um das Feld des EAM agiler zu machen, beschreibt er den Ansatz der „kollaborativen EA". Er kombiniert klassisches EAM mit Ideen aus dem Lean Management zur Prozessverschlankung, agile Methoden zum iterativen Vorgehen in EA-Projekten sowie zu Umstrukturierung der EA-Gruppen und Enterprise 2.0 Ansätze für die Einbindung von mehreren Personen.

4 Diskussion

Auf Basis der inhaltlichen Beschreibung kann nun eine kritische Betrachtung der Kategorien vorgenommen werden.

Prozesse spielen in Unternehmen eine nicht wegzudenkende, wichtige Rolle. Abläufe werden hierdurch gesteuert und effizient gestaltet. Sie bilden ab, welche Schritte und Aufgaben zu welchem Zeitpunkt und bei welcher Aufgabenstellung erledigt werden müssen, immer mit dem Fokus einen Wertbeitrag für das Unternehmen zu liefern. Viele Quellen stellen aber nicht primär einen Zusammenhang zwischen Prozessen und der Reduzierung der IT-Komplexität her. Doch dieser Zusammenhang ist vorhanden. Die Prozesse werden weitestgehend automatisiert und dadurch wiederum schneller und effizienter.

Die **Handlungsempfehlungen** sind sinnvoll, allerdings sind die Beschreibungen zu kurz und inhaltslos um eine hohe Anwendbarkeit im Unternehmen erzielen zu können. Weiterhin handelt es sich meistens nur um Schlagwörter mit kurzen Erklärungen, die darüber hinaus keinerlei Detaillierungsgrad aufweisen. Für weiterführende Maßnahmen zur Reduzierung der IT-Komplexität müssten weitergehende Literatur oder ausreichende Praxiserfahrung hinzugezogen werden.

Im Bereich der **Standardisierungen** ist SOA ein gutes Architekturparadigma zur Reduzierung der Komplexität insbesondere in IT-intensiven Branchen, weil hierdurch viel Struktur und Transparenz mit wiederverwertbaren und standardisierten Services erreicht werden kann. Für produzierende Unternehmen ist dieser Ansatz hingegen nicht

empfehlenswert, weil die verschiedenen eingesetzten Systeme keine Vereinheitlichung der Stammdaten ermöglichen. EAM kann hier als Methode genutzt werden. Die Literatur liefert einige gute Hilfen für die Einführung, auch im Hinblick auf das Management der IT-Komplexität. Verschiedene Studien [LSB11]; [BY07]; [SB11] bestätigen den langfristigen Erfolg von EAM, wenn dieses gut etabliert und auch langfristig verwendet wird. Grundsätzliche Probleme von Standardisierungen sind allerdings nicht zu ignorieren, denn sie brauchen für eine erfolgreiche Umsetzung qualifizierte Mitarbeiter sowie ausreichende Ressourcen in personeller und finanzieller Hinsicht. [Ben14] zeigt wie man den Ansatz agiler und somit passender für viele heutige Unternehmen gestalten kann. Er gibt ausführliche Erklärungen, wie und mit welchen Methoden die Agilität erreicht werden kann. Einzige Kritik an diesem Artikel ist, dass für das Verständnis auch ein gutes Hintergrundwissen im Bereich EAM vorhanden sein muss um die Vorteile besser verstehen und auf das eigene Unternehmen übertragen zu können

Die Kategorie der **Messmethoden** ist nicht sehr detailliert. Das ist damit zu begründen, dass die Konzepte teils zu oberflächlich und teils zu theoretisch ausgelegt sind und das Modell von [Bee14] nur für große Unternehmen vorgesehen ist. Keines der diskutierten Konzepte verfügt über die Eigenschaften eines Vorgehensmodells nach zuvor genannter Definition.

Die **Technologien** haben auch eine eher geringe Anwendbarkeit. Das Unternehmen selber hat also keinen eigenen Entwicklungsaufwand. Allerdings gehen zahlreiche Vertragsverhandlungen damit einher und diese Systeme sind oft eher für große Unternehmen konzipiert als für kleine und mittelständische Unternehmen (KMU). Die Literatur bietet hierfür auch keinerlei Hilfestellung, sondern geht ausschließlich auf die technischen Vorteile ein. Über das Vorgehen der Implementierung finden sich in den Quellen keine Hinweise.

Die Ansätze in der Kategorie der **Architekturmodelle** sind durchaus empfehlenswert, allerdings entweder zu oberflächlich oder zu technisch-mathematisch beschrieben, was die praktische Anwendung sehr schwer werden lässt. [MWW14] berücksichtigen außerdem nur die Komplexität der Prozesse und [LF06] beziehen sich ausschließlich auf den Finanzsektor.

Die **Vorgehensmodelle** sind sehr unterschiedlich einzuordnen. Dem Modell von [Wie06] fehlen zahlreiche Details, um es für das eigene Unternehmen nutzen zu können. Es ist weder ein Hinweis zu finden, ob das Modell bereits erfolgreich in einem Unternehmen umgesetzt wurde, noch ein Beispiel zur Verdeutlichung der praktischen Umsetzung. Auf drei Seiten, werden zwei Modelle und die Treiber der IT-Komplexität vorgestellt. Ggf. könnte das Modell für sehr erfahrene IT-Kräfte eine Hilfestellung sein. Das Modell von [Dur07] ist ausführlich, jedoch ist die grundsätzliche Idee, Anwendungen nur nach der Bemessung ihres Wertbeitrages zu implementieren, nicht ganz zielführend für die Reduzierung von IT-Komplexität. Anwendungen die eingeführt werden, um Nebenprozesse im Unternehmen zu unterstützen liefern keinen direkten Wertbeitrag zum Unternehmen, stellen sich aber dennoch als wichtig dar und sollten nicht aufgrund dieses

Vorgehens ignoriert werden. Für den Bereich des Kerngeschäftes stellt dieses Vorgehen sicherlich eine gute Lösung dar.

Aus dieser Betrachtung lässt sich die folgende Einordnung anhand zweier Kategorien ableiten. Außerdem wird die Forschungslücke, hier hellgrau schraffiert, deutlich. Literatur aus den Kategorien, die in der Abbildung umrandet sind, werden nachfolgend für die Synthese genutzt.

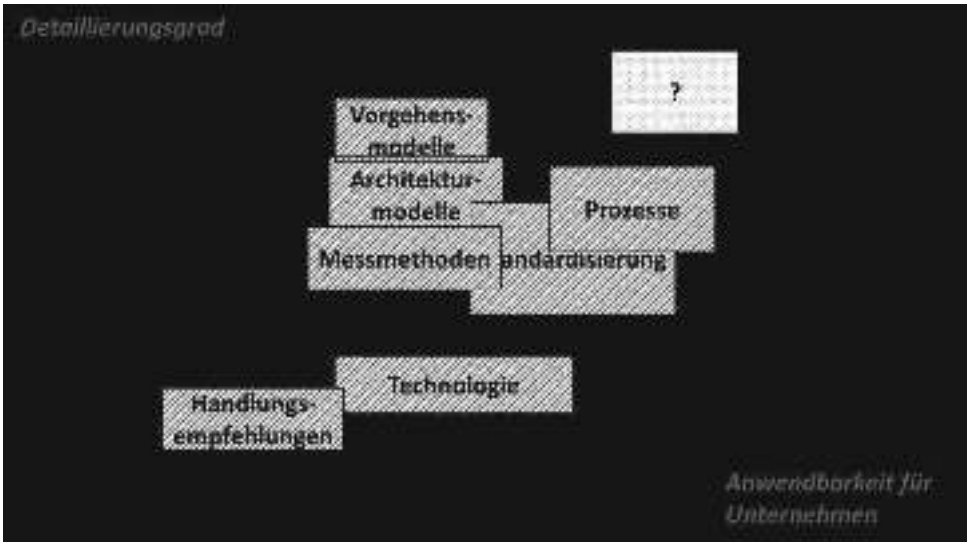


Abb. 1: Einordnung mit Forschungslücke
Quelle: i.A.a: [SHG17]

5 Synthese

Wie bereits dargestellt stellen einige der Ansätze gute Möglichkeiten zur Reduzierung der IT-Komplexität vor. Der Bereich der Prozesse muss auf jeden Fall mit in die Maßnahmenplanung miteinbezogen werden. Dieser Bereich ist allerdings so umfangreich, dass er für sich separat betrachtet werden sollte. Die Entwicklung von Frameworks und Standards in diesem Bereich bestätigen die Wichtigkeit von optimierten und standardisierten Unternehmensprozessen für die Verbesserung der Qualität und die Etablierung einer Prozesskultur auf lange Sicht [ZHG16]. Für Unternehmen gilt es herauszufinden, welche Prozesse tatsächlich das Kerngeschäft unterstützen und welche Prozesse dabei helfen, die strategischen Ziele des Unternehmens zu erreichen. Auf Grundlage dieser Analyse sollen Prozesse implementiert, dokumentiert und kontinuierlich verbessert werden. Die Modellierung der Prozesse gibt dabei Aufschluss darüber, an welchen Stellen Schwachstellen eliminiert werden sollten und stellt transparent dar, wie

der Ablauf eines Prozesses auszusehen hat. Der Vorschlag von [MWW14] bezüglich einer globalen Prozessplattform scheint ein passender Lösungsansatz zu sein. Es kann durchaus sinnvoll sein, die IT-Architektur genauer zu untersuchen und hinsichtlich der Vorschläge von [Ses08] eine Umstrukturierung durchzuführen. Ziel ist es die Architektur zu entwirren und die Technologien eindeutig den Prozessen zuzuordnen, um hier Redundanzen zu vermeiden und die Schnittstellen zu verringern.

Standardisierungen in Bezug auf Prozesse und Anwendungen erleichtern häufig die Wartung und führen zu einer schnelleren Implementierung, als eigen-entwickelte Individuallösungen. Das Kerngeschäft sollte daher mit stabilen Standardlösungen betrieben werden. Hierbei muss darauf geachtet werden, dass die Standardlösung nicht zu sehr die Innovationkraft einschränkt [RWR06].

Zusammenfassend zeigt Abb. 2 ein Modell einer IT-Architektur.

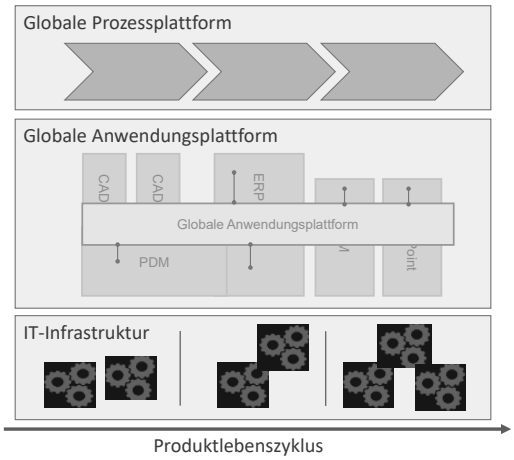


Abb. 2: Entwurf einer IT-Architektur auf Basis der Literaturanalyse

Auf oberster Ebene befindet sich eine globale Prozessplattform, wie [MWW14] in ihrem Artikel empfehlen. Ergänzt mit [Ses08] Architekturempfehlung, dass die Prozesse ihren benötigten Technologien zugeordnet werden. Weiterhin gibt es eine globale Anwendungsplattform, die alle im Unternehmen benötigten Anwendungen miteinander über minimale Schnittstellen verknüpft und über den gesamten Produktlebenszyklus eines produzierenden Unternehmens hinweg reicht [SHG17]. Hierdurch wird die IT-Architektur transparent und erhält eine klare Struktur, wodurch Lösungen mit zu vielen Plattformen und Systemen eliminiert werden [Mur04] und dadurch die Komplexität verringert wird. Probleme beim Aufbau der IT-Infrastruktur nach der Definition von [PZH12], die zu großer Komplexität führen, sind aus der Literatur nicht hervorgegangen. Hardware sowie Systemsoftware bilden jedoch die technologische Grundlage für die Anwendungs- und Prozessplattform.

6 Zusammenfassung

Zusammenfassend zeigt der Artikel den aktuellen Stand der Forschung zum Thema der Methoden zum Management der IT-Komplexität. Die Identifizierung der Methoden erfolgte auf Basis einer strukturierten Literaturanalyse. Als Ergebnis kann hier eine umfangreiche Literaturliste aufgeführt werden. Die relevanten Quellen wurden nach sieben Kategorien strukturiert und inhaltlich beschrieben. Anschließend folgte eine Diskussion der Kategorien wodurch die Vor- und Nachteile herausgearbeitet wurden. Die Anwendbarkeit der Methoden für Unternehmen wurde hierdurch deutlich und weiterhin wurde die zweite Forschungsfrage damit beantwortet. Mittels einer Synthese wurden die wesentlichen Quellen in Verbindung gebracht und zu einem IT-Architekturmodell zusammengefasst.

Literaturverzeichnis

[AK98] Ahlemeyer, Heinrich W.; Königswieser, Roswita: *Komplexität Managen: Strategien, Konzepte Und Fallbeispiele:* Gabler, 1998

[AG04] Arteta, B. M.; Giachetti, R. E.: *A measure of agility as the complexity of the enterprise system.* In: *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing* 20 (2004), Nr. 6, S. 495–503

[Ash56] Ashby, W. R.: *Introduction to Cybernetics.* [S.l.]: MARTINO FINE BOOKS, 1956

[Bar10] Barkow, Reinhard: *Enterprise-Architecture-Management in der Praxis: Wandel, Komplexität und IT-Kosten im Unternehmen beherrschen.* 1. Aufl. Keuntje, Jan H. (Hrsg.). Düsseldorf: Symposion, 2010

[BR98] Becker, J.; Rosemann, M.: Informationsmanagement - ein Beitrag zur Beherrschung von Komplexität? In: Adam, D. (Hrsg.): *Komplexitätsmanagement.* Wiesbaden: Gabler, 1998 (Schriften zur Unternehmensführung, Bd. 61), S. 111–124

[Bec12] Becker, M.: *Hinweise zur Anfertigung eines Literatur-Reviews.* 30.05.2012

[Bee14] Beetz, Karl-Heinz: *Wirkung von IT-Governance auf IT-Komplexität in Unternehmen: Beeinflussung der IT-Redundanz durch Verantwortungsteilung im IT-Projektportfoliomanagement.* Wiesbaden: Springer Gabler, 2014 (SpringerLink: Bücher)

[Ben14] Bente, S.: Kollaborative Enterprise-Architektur: Managementwerkzeug für komplexe IT-Systeme. In: Schoeneberg, Klaus-Peter (Hrsg.): *Komplexitätsmanagement in Unternehmen: Herausforderungen im Umgang mit Dynamik, Unsicherheit und Komplexität meistern.* Wiesbaden: Springer Gabler, 2014, S. 187–223

[BY07] Boh, Wai Fong; Yellin, Daniel: *Using Enterprise Architecture Standards in Managing Information Technology.* In: *Journal of Management Information Systems* 23 (2007), Nr. 3, S. 163–207

[BSN09] Brocke, J.; Simons, A.r; Niehaves, B.; Reimer, K.; Plattfaut, R.; Cleven, A.: *Reconstructing the Giant: On the impact of rigour in documenting the literature search process.* In: *ECIS 2009 Proceedings* (2009), Nr. 161, o.A. URL

http://aisel.aisnet.org/ecis2009/161

[CDS91] Child, P.; Diederichs, R.; Sanders, F.; Wisniowski, D.: *SMR Forum: The Management of Complexity.* In: *Sloan Management Review* 30 (1991), Nr. 1, S. 73–80

[Coo88] Cooper, H. M.: *Organizing knowledge syntheses: A taxonomy of literature reviews.* In: *Knowledge in Society* 1 (1988), Nr. 1, S. 104–126

[Der11] Dern, G.: *Integrationsmanagement in der Unternehmens-IT: Systemtheoretisch fundierte Empfehlungen zur Gestaltung von IT-Landschaft und IT-Organisation.* Wiesbaden: Vieweg+Teubner, 2011 (Wissenschaft)

[DJ09] Dern, G.; Jung, R.: *IT-Architektur-Governance auf Basis von Kennzahlen zur Komplexitätsmessung.* In: *Controlling* 21 (2009), Nr. 12, S. 669–672

[Dur07] Durst, Michael: *Wertorientiertes Management von IT-Architekturen.* 1. Aufl. Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag, 2007 (Wirtschaftsinformatik)

[Feh06] Fehlmann, R.: *IT trägt wesentlich zum Unternehmenserfolg bei, doch Wie managen wir die steigende IT-Komplexität.* In: *Organisator* (2006), Nr. 4, S. 36–37

[FK99] Frohmüller, Klaus-Peter; Kiefer, Tobias: *PRAXIS UND ANALYSE - Organisation -: IT-Komplexität: Ursachen und Beherrschungsmechanismen.* In: *Die Bank: Zeitschrift für Bankpolitik und Praxis* (1999), Nr. 12, S. 832–837

[GHS04] Ganek, A. G.; Hilkner, C. P.; Sweitzer, J. W.; Miller, B.; Hellerstein, J. L.: The response to IT complexity: autonomic computing. In: IEEE Computer Society (Hrsg.): *Proceedings of the Third IEEE International Symposium on Network Computing and Applications (NCA'04):* o.A., 2004, S. 151–157

[GD13] Grebe, M.; Danke, E.: *Simplify IT: Six Ways to reduce Complexity*

[Han11] Hanschke, I.: *Beherrschen der IT-Komplexität mithilfe von EAM.* In: *Wirtschaftsinformatik & Management* (2011), Nr. 3, S. 66–71

[LSB11] Lagerström, R.; Sommestad, T.; Buschle, M.; Ekstedt, M.: Enterprise Architecture Management's Impact on Information Technology Success. In: Sprague, Ralph H. (Hrsg.): *Proceedings of the 44th Annual Hawai'i International Conference on System Sciences: 4-7 January 2011, Koloa, Kauai, Hawaii: abstracts and CD-ROM of full papers.* Los Alamitos, Calif.: IEEE, 2011, S. 1–10

[LF06] Langlinais, T. C.; Forbes, S.: *Automakers Sketch Out a Road Map for Banks.* In: *American Banker* 171 (2006), Nr. 20, 8A

[LVA12] Leukert, P.; Vollmer, A.; Alliet, B.; Reeves, M.: *IT complexity metrics: how do you measure up?* 2012 (o.A.)

[LVS12] Leukert, P.; Vollmer, A.; Small, M. McEvay, P.; Reeves, M.: *IT-Complexity: Measure, Model, Master.* 2012

[Luh80] Luhmann, N.: Komplexität. In: Grochla, Erwin (Hrsg.): *Enzyklopädie der Betriebswirtschaftslehre.* 2., völlig neu gestaltete Aufl. Stuttgart: C.E. Poeschel, 1980, S. 1064–1070

[MEM10] Martin, Alexander; Eistert, Torsten; Meyer, Konrad: *Kernbankensysteme kein Allheilmittel.* In: *Die Bank* (2010), Nr. 1, S. 64–67

[Mie04] Mieze, T.: *Beyond Carr - und sie bewegt sich doch.* In: *HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik* (2004), Nr. 239, S. 18–27

[Moa15] Moawed, M.: *Managing IT Complexity in the Enterprise.* 2015

[Moc09] Mocker, M.: What Is Complex About 273 Applications?: Untangling Application Architecture Complexity in a Case of European Investment Banking, Bd. 2009. In: Sprague, Ralph H. (Hrsg.): *42nd Hawaii International Conference on System Sciences, 2009: HICSS '09; Waikoloa, Hawaii, 5 - 8 Jan. 2009.* Piscataway, NJ: IEEE, 2009, S. 1–14

[MWW14] Mocker, M.; Weill, P.; Woerner, S.: *Revisiting Complexity in the Digital Age.* In: *MITSloan* (2014), o.A., S. 72–81

[Mur04] Murch, R.: *Managing Complexity in IT.* URL http://www.informit.com/articles/article.aspx?p=336860

[PZH12] Patig, S.; Zwanziger, A.; Herden, S.: *IT-Infrastruktur — Enzyklopaedie der Wirtschaftsinformatik.* URL http://www.enzyklopaedie-der-wirtschaftsinformatik.de/lexikon/daten-wissen/Informationsmanagement/IT-Infrastruktur/index.html – Überprüfungsdatum 2017-03-01

[RWR06] Ross, Jeanne W.; Weill, Peter; Robertson, David: *Enterprise architecture as strategy: Creating a foundation for business execution.* Boston, Mass.: Harvard Business School Press, 2006

[SB11] Schmidt, Christian; Buxmann, Peter: *Outcomes and success factors of enterprise IT architecture management: Empirical insight from the international financial services industry.* In: *European Journal of Information Systems* 20 (2011), Nr. 2, S. 168–185

[SWS13] Schmidt, Christia; Widjaja, Thomas; Schütz, Alexander: *Messung der Komplexität von IT-Landschaften auf der Basis von Architektur-Metamodellen: Ein generischer Ansatz und dessen Anwendung im Rahmen der Architektur-Transformation.* 2013

[Sch05] Schuh, Günther: *Produktkomplexität managen: Strategien - Methoden - Tools.* 2. Aufl. München, Wien: Hanser, 2005

[SHG17] Schuh, Günther; Hoffmann, Jörg; Gruber, Marie; Zeller, Violett: *Managing IT Complexity in the Manufacturing Industry: An Agenda for Action.* In: *Journal on Systemics, Cybernetics and Informatics* 15 (2017), Nr. 2, S. 61–65. URL http://www.iiisci.org/journal/sci/issue.asp?is=ISS1702 – Überprüfungsdatum 2017-05-19

[Sch17] Schütz, Alexander: *Komplexität von IT-Architekturen: Konzeptualisierung, Quantifizierung, Planung und Kontrolle.* Wiesbaden: Springer Fachmedien, 2017

[SWK13] Schütz, Alexander; Widjaja, Thomas; Kaiser, Jasmin: *Complexity In Enterprise Architectures - Conceptualization And Introduction Of A Measure From A System Theoretic Perspective.* In: *ECIS 2013 Completed Research.* Paper (2013), Nr. 202, S. 1–12. URL http://aisel.aisnet.org/ecis2013_cr/202

[Ses08] Sessions, Roger: *Simple architectures for complex enterprises.* Redmond, Wash.: Microsoft Press, 2008 (Best practices)

[WKT12] Widjaja, Thomas; Kaiser, Jasmin; Tepel, Dennis; Buxmann, Peter: Heterogeneity in IT

Landscapes and Monopoly Power of Firms: A Model to Quantify Heterogeneity. In: ICIS (Hrsg.): *Thirty Third International Conference on Information Systems.* Orlando: o.A., 2012, S. 1–14

[Wie06] Wienker, R.: *Komplexität der Unternehmens-IT beherrschbar machen.* In: *ERP Management* (2006), Nr. 4, S. 38–41

[ZHG16] Zeller, Violett; Hoffmann, Jörg; Gruber, Marie; Schuh, Günther: *GradeIT – Prozessqualität bei kleinen und mittleren IT-Service-Providern.* In: *HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik* 53 (2016), Nr. 2, S. 200–212

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 1617

ISMS-Tools zur Unterstützung eines nativen ISMS gemäß ISO 27001

Marlen Hofmann[1] und Andreas Hofmann[2]

Abstract: Steigende Bedeutung von Informationssicherheit und neue gesetzliche Anforderungen motivieren Unternehmen nahezu aller Branchen zur Einführung eines nativen Informationssicherheitsmanagementsystems (ISMS) gemäß den Anforderungen der DIN ISO/IEC 27001. Zur IT-seitigen Unterstützung des ISMS stehen am Markt zahlreiche Werkzeuge zur Verfügung, deren Leistungsspektrum jedoch häufig intransparent ist und die i.d.R. nur einzelne, weitläufig bekannte ISMS-Aufgaben unterstützen. Im Rahmen des Forschungsvorhabens „CISO27" wurden daher in früheren Forschungsiterationen funktionale Anforderungen an ISMS-Tools und ein Referenzprozess zur Umsetzung eines nativen ISMS-Vorgehens erarbeitet. Im Rahmen dieses Beitrags werden dazu ergänzend eine strukturierte Marktstudie zu verfügbaren ISMS-Tools erstellt und deren Funktionalitäten entlang des Anforderungskataloges bewertet.

Keywords: Management von Informationssicherheit, ISO 27001, ISMS-Tools, ISO27-Sicherheitsprozess, ISMS, Anforderungen an ISMS-Tools, Marktstudie zu ISMS-Tools

1 Darstellung des Forschungsvorhabens CISO27

Steigende Bedeutung von Informationssicherheit und neue gesetzliche und regulatorische Anforderungen motivieren Unternehmen nahezu aller Branchen zur Einführung und zum Betrieb eines nativen Informationssicherheitsmanagementsystems (ISMS) gemäß den Anforderungen der DIN ISO/IEC 27001 (ISO 27001) [BV15]. Aufgrund der Freiheitsgrade der Norm und deren eingeschränkter Prozessorientierung gibt es in der Praxis jedoch bislang keine standardisierten Abläufe im ISMS-Betrieb und auch die verfügbaren ISMS-Tools unterstützen i.d.R. nur einige wenige, weitläufig bekannte ISMS-Aktivitäten [HH16a].

Das Forschungsvorhaben CISO27 adressiert diese Problemstellung und hat zum Ziel, einen Informationssicherheitsprozess und eine adäquate IT-Lösung zu konzipieren, mithilfe derer die Unternehmen "by Design" ein transparentes natives ISMS betreiben können. In einem ersten Schritt entstand dazu bereits der ISO27-Sicherheitsprozess (ISO27-SP), welcher einen Überblick über die notwendigen Prozessschritte und Aufgaben für einen normkonformen nativen ISMS-Betrieb gibt [HH16a].

In einem zweiten Schritt wurde auf Basis des ISO27-SP ein Anforderungskatalog erarbei-

[1] CISO27, Am Wachberg 2A 04425 Taucha, info@ciso27.org
[2] CISO27, Am Wachberg 2A 04425 Taucha, info@ciso27.org

doi:10.18420/in2017_162

tet, der übergreifende und prozessspezifische Anforderungen an ISMS-Tools zur Unterstützung des Referenzprozesses beinhaltet (Vgl. [HH16b]). Dieser Anforderungskatalog wird im Rahmen des vorliegenden Beitrags dazu genutzt, das Unterstützungspotential bestehender ISMS-Tools systematisch zu überprüfen und zu bewerten. Der Beitrag ist dazu wie folgt gegliedert: In Kapitel 2 findet sich eine Darstellung der angewendeten Forschungsmethode zur Erstellung der Marktstudie. Kapitel 3 gibt einen Überblick über die identifizierten ISMS-Tools. Die Darstellung der Analyseergebnisse findet sich in Kapitel 4. Die Gesamtbewertung sowie eine kurze Präsentation der erstplatzierten ISMS-Tools erfolgt in Kapitel 5. Der Beitrag endet mit einer Zusammenfassung und einem kurzen Fazit.

2 Forschungsmethode zur Erstellung der Marktstudie

Am Markt steht eine Vielzahl an ISMS-Tools zur Unterstützung des ISO27-SP zur Verfügung (Vgl. z.B. [WP12], [CS15]), die im Rahmen einer Marktstudie hinsichtlich ihres Unterstützungspotentials bewertet werden sollen. Um dabei transparente und nachvollziehbare Ergebnisse zu erzielen, wird die Marktstudie entlang der wissenschaftlichen Methodik zur Erstellung von strukturierten Literaturanalysen durchgeführt (Vgl. [Br09]). Dazu verdeutlicht die Übersicht in Tabelle 1 die wesentlichen Rahmenbedingungen (siehe markierte Zellen): Die Marktstudie fokussiert auf die Identifikation von ISMS-Tools zur Unterstützung des ISO27-SP. Zentrales Ziel ist es, das Leistungsspektrum der identifizierten Werkzeuge hinsichtlich der Eignung zur Unterstützung des ISO27-SP zu untersuchen und damit zentrale Probleme, resp. „Leistungslücken“ in den ISMS-Tools aufzuzeigen. Die Ergebnisse werden konzeptionell entlang des ISO27-SP sowie den dazu abgeleiteten Anforderungen aufbereitet und wertungsfrei dargestellt. Zielgruppe des Beitrages sind ISMS-Praktiker und -Forschungsgruppen. Der Marktstudie liegt die Datenbasis des World Wide Web zugrunde und der Zugriff erfolgte im Juli 2016 über die Suchmaschine google.de. In Bezug auf die Ergebnisse der Suchmaschine handelt es sich um eine umfassende Tool-Suche, die, ausgehend vom Erhebungszeitpunkt, ohne zeitliche Einschränkungen durchgeführt wurde. Die Tool-Analyse erfolgte hingegen selektiv, da nicht alle identifizierten ISMS-Tools überprüft werden konnten.

Characteristic		Categories			
1	Focus	Research outcomes	Research methods	Theories	Applications
2	Goal	Integration	Criticism	Central issues	
3	Organisation	Historical	Conceptual	Methodological	
4	Perspective	Neutral representation		Espousal of position	
5	Audience	Specialised scholars	General scholars	Practitioners/ politicians	General public
6	Coverage	Exhaustive	Exhaustive and selective	Representative	Central/ pivotal

Tab. 1: Dimensionen der strukturierten Marktstudie (Vgl. [Br09])

Die Tool-Suche wurde mit folgenden Suchbegriffen durchgeführt: "ISMS Werkzeug" OR "ISMS Tool" OR "ISMS Software" OR "ISMS Lösung" OR "27001 Werkzeug“ OR "27001 Tool" OR "27001 Lösung" OR "27001 Software". Dieses Vorgehen führte zu einer Vielzahl von Google-Ergebnissen die zunächst reduziert werden mussten. Dazu wurden die Websites nach Titel und Inhalt gescannt und initial deren Relevanz für die Marktstudie bewertet. Zur vertieften Untersuchung wurden Websites ausgewählt, die Werkzeuge zur Unterstützung des ISMS nach ISO 27001 oder BSI Grundschutz bereitstellen. Exkludiert wurden Websites, in denen die Suchbegriffe lediglich zu Werbe- oder Informationszwecken genutzt wurden. Die als relevant eingestuften Websites wurden anschließend in Hinblick auf die Verfügbarkeit von Dokumentationen und/oder Testversionen überprüft. In diesem Zuge wurden weitere Exklusionen vorgenommen: Es wurden Excel-Tools und Word-basierte Dokumentations-Kits ausgeschlossen sowie Werkzeuge exkludiert, die lediglich zu Vermarktungszwecken mit ISMS-relevanten Begriffen beschrieben wurden. Werkzeuge, über die unzureichend Informationen zugänglich oder die nicht in deutscher oder englischer Sprache verfügbar waren, wurden ebenfalls von der Marktstudie ausgeschlossen.

Die Tool-Analyse erfolgte durch ein 2-stufiges Evaluationsverfahren: Zunächst wurden öffentlich zugängliche Informationen (z.B. Produktpräsentationen) genutzt, um eine initiale Bewertung der Tools vorzunehmen. Auf einem herstellerseitigen Freiwilligkeitsprinzip basierend wurden die Werkzeuge anschließend mithilfe von geführten Produktdemonstrationen und/oder mithilfe von Testversionen vertieft analysiert. Jedes Werkzeug wurde dazu an Standard-Anforderungen gemessen und durch eine Experteneinschätzung auf einer dreistufigen Punkteskala bewertet. Bei Erfüllung der Anforderung erhielt das Werkzeug zwei Punkte, bei einer teilweisen Abbildung wurde ein Punkt vergeben. Bei Nichterfüllung oder in Ermangelung von Informationen durch die fehlende Möglichkeit zur vertieften Evaluierung wurden null Punkte vergeben.

3 Überblick über die ISMS-Tools

Durch das zuvor beschriebene Vorgehen wurden 36 ISMS-Tools identifiziert, von denen im Sinne einer priorisierten Abarbeitung zunächst nur europäische Werkzeuge analysiert wurden[3]. Diese lassen sich weitergehend systematisieren: Werkzeuge mit einem breiten fachlichen Ansatz, die dem Bereich der Governance-Risk-Compliance Tools zuzuordnen sind (GRC-Tools), Werkzeuge, die auf die Unterstützung des ISMS nach ISO 27001 nativ abzielen (ISO-Tools), Werkzeuge, die auf die Unterstützung des ISMS nach BSI Grundschutz abzielen (GS-Tools), Werkzeuge, die ihren Ursprung in der IT-Dokumentation haben (Doku-Tools) und Werkzeuge, die originär das Enterprise Risk Managment unterstüt-

[3] Folgende Nicht-Europäische Werkzeuge wurden ausgeschlossen: Comply27, Conformance Works 20000, CYBERWATCH, ISMS software (Paladion), ISO Manager, Modulo Risk Manager und TAMIM ISMS

zen (RM-Tools). Die Einordnung der Werkzeuge kann nachfolgender Tabelle 2 entnommen werden. Markierte Zellen visualisieren Tools, die nur auf Basis von öffentlichen zugänglichen Informationen evaluiert wurden.

GRC-Tools	ISO-Tools	GS-Tools	Doku-Tools	RM-Tools
Acuity STREAM *Acuity Risk Management*	ISAT-X *isec*	opus i *kronsoft*	i-doit *synetics*	Pilar *CCN*
ADAPTO *ADAPTO Solutions*	Risk27001 *Peter Pakosch*	SAVe® *INFODAS*	INDITOR® BSI *CONTECHNET*	RM Studio *Stiki*
CRISAM® Explorer *calpana business consulting*	ISMart *BIZnet*	sicherer IT-Betrieb *SIZ*		
DHC VISION ISMS *DHC Business Solutions*	ISMSbox *Ceyoniq Technology*	sidoc®-Sicherheits-management *2net® Carsten Lang*		
DocSetMinder® *GRC Partner*	ISO 27001 Toolkit *provensec*	verinice. *SerNet*		
ibi systems iris *ibi systems*	Proteus®GRCyber™ *Proteus-Cyber*			
GRC Toolbox PRO *Swiss Infosec*	TRICK Service *itrust consulting*			
Hiscout ISM & ISMS4ENERGY *HiScout*	vsRISK *Vigilant Software*			
QSEC *Wüpper Mgt. Consulting*				
R2C_ISMS *Schleupen*				
risk2value *avedos GRC*				
S&L Compliance Suite *S&L Firmengruppe*				

Tab. 2: Überblick über ISMS-Tools

4 Ergebnisse der Marktstudie

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Marktstudie sowie die zugrundeliegenden Standard-Anforderungen (A) an ISMS-Tools vorgestellt. Die Anforderungen wurden von den einzelnen Prozessschritten und Aufgaben des ISO27-SP abgeleitet und unter Zuhilfen-

ahme von Standardliteratur im ISMS-Kontext konkretisiert (Vgl. [HH16b]) Die Darstellung der Marktstudienergebnisse erfolgt entlang der Plan-, Do-, Check- und Act-Phase des ISO27-SP. Ergänzend finden sich in den Unterkapiteln fünf und sechs prozessübergreifende sowie allgemeine Anforderungen und die jeweiligen Analyseergebnisse zu den betrachteten ISMS-Tools.

4.1 Anforderungen in der Plan-Phase

Innerhalb der Planungsphase des ISO27-SP werden zunächst Rahmenbedingungen und strategische Aspekte des ISMS definiert (z.B. ISMS-Scope und ISMS-Ziele). ISMS-Tools sollten dazu eine **A1: Stammdatenverwaltung** bereitstellen, innerhalb derer insb. Aufbau- und Ablauforganisation sowie ISMS-Assets gepflegt werden können. Keine Punkte in dieser Kategorie erhielten ausschließlich Werkzeuge, die nicht weitergehend analysiert werden konnten. Alle anderen Werkzeuge verfügen über die geforderte Funktionalität, unterscheiden sich jedoch deutlich in der Ausgestaltung. So unterstützen z.B. einige Vertreter der GS-und Doku-Tools lediglich die Verwaltung von klassischen IT-Assets und stellen keine Möglichkeiten zur Verwaltung von Prozessen und Personal-Assets zur Verfügung.

Ebenfalls Teil der Planungsphase des ISO27-SP ist die Bewertung der Schutzbedarfe einzelner ISMS-Assets. Nahezu alle untersuchten Tools unterstützen die **A2: Schutzbedarfsanalyse**, in dem sie bereits innerhalb der Stammdatenverwaltung Datenfelder zur den Schutzzielen bereitstellen. Lediglich i-doit stellt dieses Feature bislang in einem anderen Modul dar, welches zusätzlich zum ISO 27001 Modul erworben werden muss. Die verbleibenden Werkzeuge, die mit null Punkten in dieser Kategorie bewertet wurden, konnten mangels Informationen nicht weitergehend analysiert werden.

Bei der Definition des ISMS-Scope sind die internen und externen Rahmenbedingungen der Organisation zu berücksichtigen. Die dafür erforderliche **A3: Umfeld- und Stakeholder-Analyse** unterstützen jedoch nur ausgewählte ISMS-Tools. Lediglich CRISAM® Explorer, ibi systems iris, ISO 27001 Toolkit und opus i bieten Datenfelder oder Notizbereiche an, um die Ergebnisse dieser Analyse zu verwalten. DocSetMinder® erhielt in dieser Kategorie die volle Punktzahl, da die Erfassung und Interpretation von externen und internen Anforderungen explizit gefordert und unterstützt wird.

Zur Unterstützung bei der Planung und Ausgestaltung der ISMS-Organisation und der Ermittlung der erforderlichen ISMS-Ressourcen sollten die ISMS-Tools Funktionalitäten für **A4: Ressourcenplanung** bereitstellen. Diese Funktionalität wird jedoch von keinem der untersuchten Werkzeuge unterstützt. Lediglich vier der untersuchten ISMS-Tools, darunter CRISAM® Explorer, ibi systems iris , HiScout ISM & ISMS4Energy und ISO 27001 Toolkit, stellen rudimentäre Datenfelder oder Notizbereiche zur Verfügung, innerhalb derer Ressourcen, ggf. erforderliche Skills und/oder die Ressourcenausstattung qualitativ erläutert werden können.

Im Zuge der Planung und Vorbereitung der operativen Aufgaben in Do-, Check- und Act-

Phase des ISO27-SP werden Richtlinien, Prozessbeschreibungen, Templates und weitere Vorlagen erstellt. ISMS-Tools können diese Aufgaben durch Bereitstellung von **A5: Muster-Content** deutlich vereinfachen. Alle untersuchten Werkzeuge halten in diesem Zusammenhang beispielsweise generische Bedrohungs- und Maßnahmenkataloge bereit und stellen vereinzelt auch exemplarische Arbeitsanweisungen und Richtlinien zur Verfügung. Lediglich Werkzeuge, die nicht weitergehend untersucht werden konnten, erhielten in dieser Kategorie null Punkte.

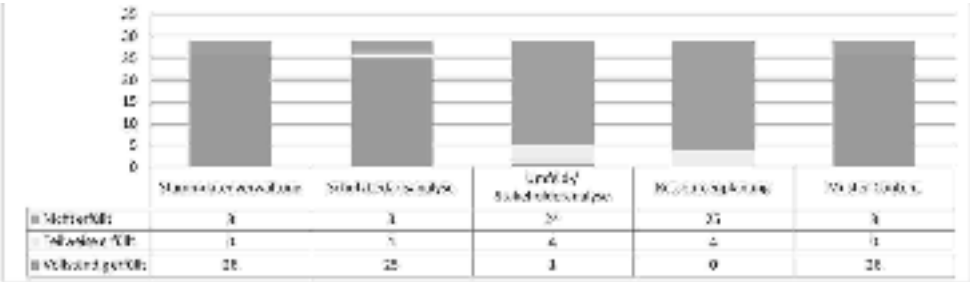


Abb. 1: Anforderungen der Plan-Phase

4.2 Anforderungen in der Do-Phase

Innerhalb der Do-Phase des ISO27-SP sind die Informationssicherheitsrisiken zu identifizieren und zu analysieren. Alle betrachteten Tools unterstützen diese Aufgabe durch systemseitige Möglichkeiten zur **A6: Risikobeurteilung**. Einige Vertreter der GS- und Doku-Tools liefern hierfür jedoch nur eingeschränkte Funktionalitäten, da die Risikobewertung im jeweiligen Kontext von untergeordneter Bedeutung ist.

Im Anschluss zur Risikobeurteilung sind Maßnahmen für die Risikobehandlung zu definieren und zu initiieren, die in einem Maßnahmenplan überwacht werden müssen. Die erforderlichen Funktionalitäten für das **A7: Maßnahmenmanagement** stellen alle analysierten ISMS-Tools zur Verfügung.

Maßnahmen zur **A8: Schulung und Sensibilisierung** sind ebenfalls der Do-Phase des ISO27-SP zuzuordnen. Diese Aufgaben werden jedoch nur von Hiscout ISM & ISMS4ENERGY und Proteus®GRCyber™ unterstützt. Ibi systems iris und GRC Toolbox PRO bieten durch ihre hohe Flexibilität jedoch grundsätzlich die Möglichkeit, eigene Wissensbereiche mit Schulungs- und Sensibilisierungsinhalten anzulegen. Diese müssen jedoch eigenständig konzipiert und implementiert werden.

Den geforderten Abgleich der initiierten Maßnahmen zum Anhang A der ISO 27001 in Form einer **A9: Anwendbarkeitserklärung** unterstützen nicht alle Werkzeuge. Aufgrund ihrer Grundschutznatur fehlt dieses Feature beispielsweise INDITOR® BSI, SAVe® und sidoc®-Sicherheitsmanagement und auch i-doit ermöglicht die Erstellung der Anwend-

barkeitserklärung nur über Umwege. Die weiteren Werkzeuge ohne Punkte in diesem Bereich konnten mangels Informationen nicht vertieft analysiert werden.

Da die einzelnen Sicherheitsmaßnahmen sehr unterschiedlich ausgeprägt sein können, wurden keine weiteren Standard-Anforderungen zur Unterstützung der Do-Phase definiert. Dennoch stellen einige der untersuchten ISMS-Tools weitere optionale Funktionalitäten bereit, die zur Unterstützung dieser Phase geeignet sind. So finden sich beispielsweise Module und Funktionalitäten zur Unterstützung des IT-Notfall- und Exception Managements, Möglichkeiten zur Unterstützung des Software- & Lizenzmanagements sowie zur Gestaltung von FAQ-Bereichen und Gewinnspielen bis hin zu Werkzeugen, die die Verwaltung von Betriebs- und Organisationshandbüchern unterstützen.

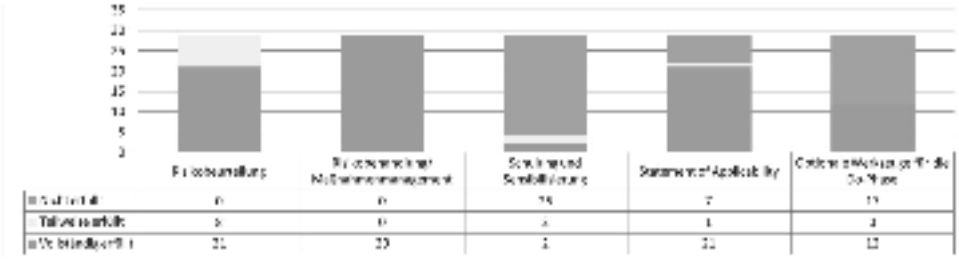


Abb. 2: Anforderungen der Do-Phase

4.3 Anforderungen in der Check-Phase

Während der Check-Phase des ISO27-SP sind die Wirksamkeit des ISMS zu überprüfen und das tatsächliche Sicherheitslevel zu überwachen. Das in diesem Kontext erforderliche **A11: Berichtswesen** unterstützen alle untersuchten Werkzeuge. Die Möglichkeiten zur Konfiguration der Reports sind jedoch unterschiedlich ausgeprägt. Während einige Werkzeuge lediglich mit Standard-Reports aufwarten, liefern andere, insb. im GRC-Umfeld angesiedelte Werkzeuge ausgereifte Report-Generatoren, die Auswertungen über die gesamte Datenbank ermöglichen. Keine Punkte in dieser Kategorie erhielten lediglich die nicht weiterführend analysierten Werkzeuge.

Um dem ISMS-verantwortlichen Management einen möglichst raschen und umfassenden Überblick über das ISMS zu geben, sollten die ISMS-Tools außerdem **A10: Dashboards** bereitstellen. Über diese Funktionalität verfügen allerdings nur etwa die Hälfte der untersuchten Werkzeuge. Die Möglichkeiten zur Dashboard-Ausgestaltung reichen von statisch vorgegebenen bis hin zu frei konfigurierbaren Ansichten und Inhalten.

Aufgrund der Heterogenität und Vielfalt von operativen Check-Maßnahmen, wurden keine weiten Standard-Anforderungen zur Unterstützung dieser Phase definiert. Dennoch stellt die Mehrheit der ISMS-Tools weitere Funktionalitäten zur Unterstützung der Kontrollaufgaben zur Verfügung. So finden sich beispielsweise Funktionalitäten für das

Security Incident Management, die Durchführung von Self Assessments, Gap- und Reifegradanalysen sowie Audits, die Verwaltung von internen Kontrollen und Kennzahlen, die Unterstützung des Compliance Managements bis hin zu Möglichkeiten des Echtzeit-Monitorings einzelner IT-Komponenten.

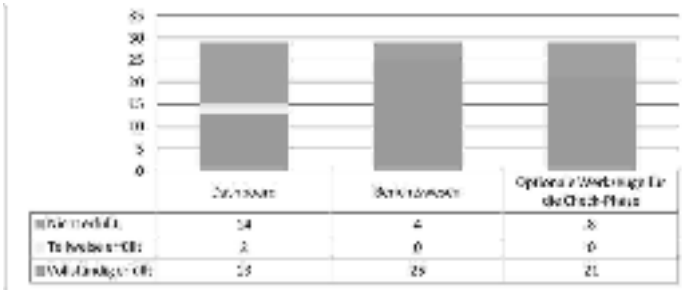


Abb. 3: Anforderungen der Check-Phase

4.4 Anforderungen in der Act-Phase

Innerhalb der Act-Phase werden die Verbesserungs- und Korrekturmaßnahmen zum ISMS festgelegt. Häufig erfolgt dies in der Praxis jedoch nicht auf Basis eines standardisierten Vorgehens, sodass auf die Definition von Standard-Anforderungen an ISMS-Tools in diesem Kontext verzichtet wurde. Die Marktstudie verdeutlichte ebenfalls, dass nur wenige systematische Ansätze zur Unterstützung dieser Phase existieren. So stellen beispielsweise DHC VISION ISMS, DocSetMinder®, verinice. und opus i Datenfelder zur Erfassung von qualitativ zu beschreibenden Verbesserungs- und Korrekturmaßnahmen bereit. GRC Toolbox PRO und HiScout ISM & ISMS4Energy erlauben durch ihre hohe Flexibilität außerdem die Erstellung von zusätzlichen Wissensbereichen (z.B. Wikis) und das Werkzeug ISMart wirbt mit einem integrieten Recommender- und Feedback-System zur Unterstützung der Act-Phase. Diese Funktionalität wurde jedoch lediglich der öffentlich zugänglichen Dokumentation entnommen und nicht evaluiert.

4.5 Übergreifende ISMS-fachliche Anforderungen

Über alle Phasen des ISO27-SP hinweg entstehen Querschnitts-Tätigkeiten, die durch ganzheitlich orientierte ISMS-Tools unterstützt werden sollten. Das übergreifende **A12: Termin- und Aufgabenmanagement** wird von etwa der Hälfte der Werkzeuge durch entsprechende Datenfelder und konfigurierbare Sichten auf die zugrundeliegende Datenbank unterstützt. Einigen Werkzeugen mangelt es jedoch an diesen übergeordneten Termin- und Aufgabensichten. Stattdessen geben sie lediglich durch Aufrufen der Einzelmaßnahmen konkretere Informationen zu Terminen, Verantwortlichen uund Inhalten preis.

Da die einzelnen Aufgaben des ISO27-SP i.d.R. nicht durch eine einzelne Person bearbei-

tet werden, sind Möglichkeiten zur **A13: Kommunikation und Kollaboration** von besonderer Bedeutung für die Funktionsfähigkeit des ISMS. Dennoch unterstützen weniger als die Hälfte der untersuchten ISMS-Tools diesen Aufgabenbereich. Häufig handelt es sich um Expertensysteme, deren Oberfläche und Usability bereits deutlich machen, dass lediglich eine zentral gesteuerte Datenerfassung und -verwaltung durch ISMS-Verantwortliche vorgesehen ist. Einige Werkzeuge bieten jedoch vereinzelte Unterstützungsmöglichkeiten im Bereich der kollaborativen Text- und Richtlinienerstellung an (z.B. CRISAM® Explorer, DHC VISION ISMS, DocSetMinder®, GRC Toolbox PRO). Andere ISMS-Tools stellen verschiedene Kommunikationswerkzeuge wie z.B. Chatfuntion (SAVe®), Kommentarfunktionen (risk2value) oder ein Nachrichtenmodul (z.B. ibi systems iris) zur Verfügung.

Selten bis gar nicht vertreten sind ISMS-Tools, die Unterstützungsmöglichkeiten für das ISMS-bezogene **A14: Informations- und Wissensmanagement** anbieten. Obwohl beide Disziplinen für den Aufbau und die kontinuierliche Verbesserung des ISMS von besonderer Bedeutung sind, stehen innerhalb der ISMS-Tools keine Funktionalitäten hierfür bereit. Allenfalls GRC Toolbox PRO und HiScout ISM & ISMS4Energy erlauben durch ihre hohe Flexibilität die Erstellung zusätzlicher Informations- & Wissensbereiche, die jedoch individuell designed und implementiert werden müssen.

Die **A15: Dokumentation und das Dokumentenmanagement** im ISMS-Kontext werden von der Mehrheit der untersuchten Werkzeuge unterstützt. Durch integrierte Dokumentenmanagementsysteme oder Funktionalitäten zur Verlinkung von Dokumentationen auf Fileshares kann i.d.R. ein guter Überblick über das ISMS generiert werden. Keine Punkte in dieser Kategorie erhielten lediglich Werkzeuge, die nicht weitergehend analysiert werden.

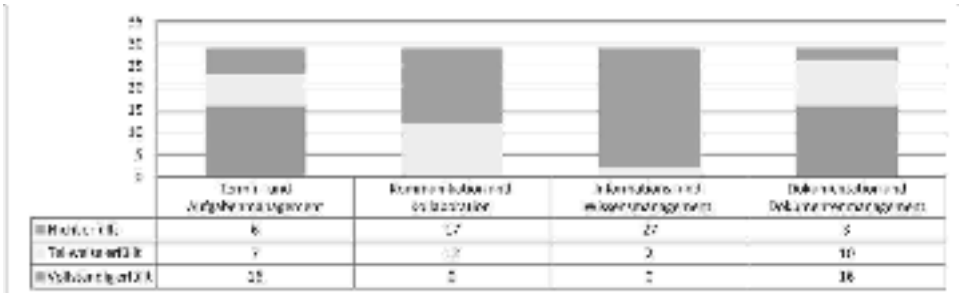


Abb. 4: Übergeordnete ISMS-fachliche Anforderungen

4.6 Allgemeine Anforderungen

Da die einzelnen Aufgaben des ISO27-SP i.d.R. durch eine dezentrale ISMS-Organisation bearbeitet werden, zählen **A16: Netzwerk- und Mehrbenutzerfähigkeit** zu den allgemeinen Anforderungen an ISMS-Tools, die ebenfalls durch die Mehrheit der Werkzeuge

erfüllt werden. Lediglich PILAR und sidoc®-Sicherheitsmanagement waren zum Zeitpunkt der Überprüfung nicht netzwerkfähig.

Um weitere ISMS-relevante Systeme anbinden zu können, sollten die ISMS-Werkzeuge außerdem über **A17: Schnittstellen** verfügen. Über die klassischen Import-/Export sowie LDAP- und AD-Schnittstellen hinaus, verfügen jedoch nur ausgewählte Werkzeuge über weitere Schnittstellen. So erlauben beispielsweise i-doit und verinice. die Anbindung von Monitoringwerkzeugen und auch QSEC wirbt damit, individuell konfigurierbare Schnittstellen zu besitzen. Über generische Schnittstellen, z.B. zur Anbindung von Sharepoint oder CMDB verfügen CRISAM® Explorer, ibi systems iris, risk2value, HiScout ISM & ISMS4Energy und INDITOR® BSI.

Technologie für das **A18: Workflow Management** ist in ca. der Hälfte der untersuchten ISMS-Tools enthalten. In der Regel unterstützen diese Werkzeuge die Zuweisung von einzelnen Aktivitäten zu Nutzern und bieten Workflow-Support für deren Benachrichtigung und ggf. Freigabeaktivitäten an. Hervorzuheben ist der neuartige Ansatz von QSEC zu Kollaborationsworkflows (Wizard-Technologie), die die verschiedenen dezentralen und ISMS-relevanten Analysen prozessual abbilden und workflowseitig unterstützen.

Die methodischen Freiräume, die zu den wesentlichen Vorteilen der Norm zählen, erlauben es den Unternehmen, eigene Ansätze und Verfahren zu entwickeln und unternehmensspezifische Begrifflichkeiten im ISMS-Kontext zu benutzen. Die entsprechende systemseitige **A19: Flexibilität und Konfigurierbarkeit** bieten jedoch nur wenige ISMS-Tools an. Häufig sind logische Abläufe vordefiniert und lassen sich allenfalls in einzelnen Attributen customizen. Lediglich einige Vertreter aus dem Bereich der GRC-Tools sind modular und flexibel genug aufgebaut, um die logisch-inhaltliche Anpassung einzelner Funktionalitäten zu unterstützen (darunter ibi systems iris, GRC Toolbox PRO, HiScout ISM & ISMS4Energy und risk2value).

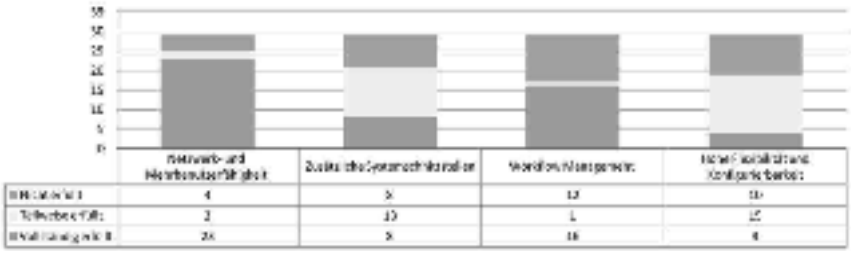


Abb. 5: Allgemeine Anforderungen

5 Gesamtübersicht und Darstellung der Top4

Die untersuchten ISMS-Tools wurden entlang von 19 Standard-Anforderungen hinsichtlich ihres Unterstützungspotentials für den ISO27-SP analysiert. Durch Kumulation der

erzielten Punkte ergibt sich die Gesamtübersicht in Abbildung 6. Auf der X-Achse wurden die erzielten Punkte im Bereich der Standard-Anforderungen kumuliert. Auf der Y-Achse wurden Zusatzpunkte für Werkzeuge mit ergänzenden Funktionalitäten und Modulen zur Unterstützung der Do-, Check- und Act-Phase des ISO27-SP kumuliert. Für 1 bis 2 zusätzliche Funktionalitäten erhielten die ISMS-Tools jeweils einen Extrapunkt und bei mehr als zwei zusätzlichen Features wurden zwei Extrapunkte vergeben. Die nachstehende Darstellung verdeutlicht damit sowohl die Platzierungen der einzelnen Werkzeuge in Bezug auf die definierten Standard-Anforderungen als auch die Potentialträger mit weiteren Nutzungsmöglichkeiten.

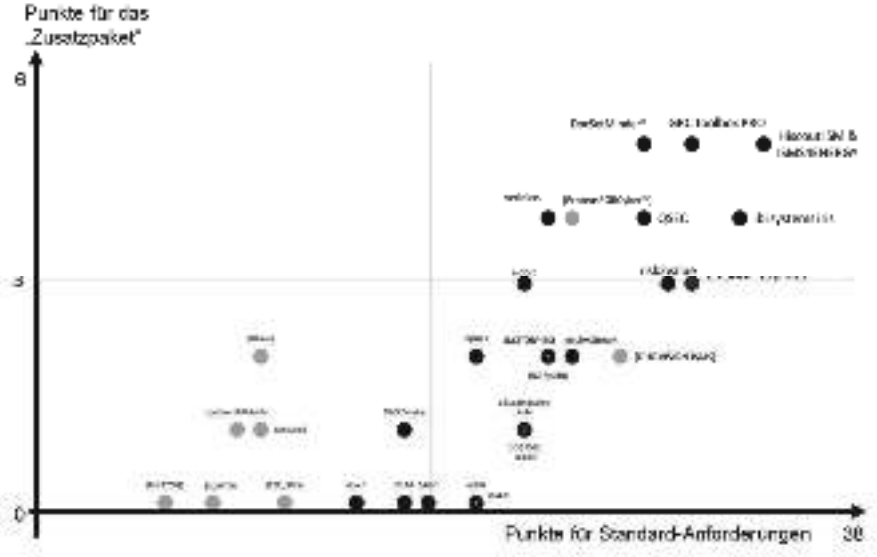


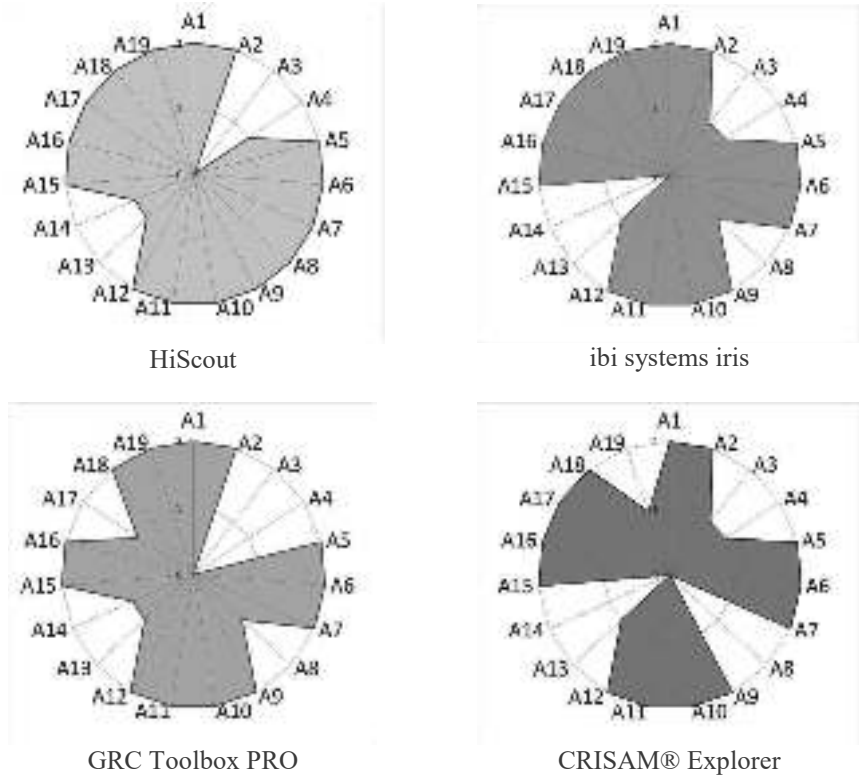
Abb. 6: Gesamtsicht nach Punkten

Zu den vier erstplatzierten Werkzeugen in Bezug auf die untersuchten Standard-Anforderungen zählen CRISAM® Explorer, ibi systems iris, GRC Toolbox PRO und HiScout ISM & ISMS4Energy. Die ISMS-Tools erhielten zwischen 30 bis 33 von 38 möglichen Punkten und sind damit in hohem Maße geeignet, den ISO27-SP zu unterstützen. Keines der betrachteten Werkzeuge erfüllt jedoch alle der für den ISO27-SP relevanten Standard-Anforderungen (Vgl. Tabelle 3). Mithilfe der nachfolgenden Spinnendiagramme werden zusammenfassend die einzelnen Stärken und „Leistungslücken" der Top4 Werkzeuge verdeutlicht.

#	Anforderung	#	Anforderung
A1	Stammdatenverwaltung	A11	Berichtswesen
A2	Schutzbedarfsanalyse	A12	Termin- und Aufgabenmanagement
A3	Umfeld-/ Stakeholderanalyse	A13	Kommunikation und Kollaboration
A4	Ressourcenplanung	A14	Informations- & Wissensmanagement

A5	Muster-Content	A15	Dokumentation & Dokumentenmgt.
A6	Risikobeurteilung	A16	Netzwerk- und Mehrbenutzerfähigkeit
A7	Maßnahmenmanagement	A17	Zusätzliche Systemschnittstellen
A8	Schulung und Sensibilisierung	A18	Workflow Management
A9	Anwendbarkeitserklärung	A19	Flexibilität & Konfigurierbarkeit
A10	Dashboard		

Tab. 1: Übersicht der Anforderungen



HiScout | ibi systems iris

GRC Toolbox PRO | CRISAM® Explorer

Abb.7: Die Top4 im Überblick

6 Zusammenfassung und Fazit

Die vorliegende Markstudie gibt einen Überblick über 29 verschiedene ISMS-Tools und zeigt deren Eignung zur Unterstützung des ISO27-SP auf. Damit erhalten ISMS-Praktiker und Forschungsgruppen einen umfassenden Überblick über verfügbare ISMS-Tools und einen Einblick in das Leistungsspektrum der Werkzeuge. Zu den Limitationen der Studie zählen insbesondere der Erhebungszeitpunkt der Daten, die

gewählten Suchbegriffe, sowie die vorgenommenen Eingrenzungen bei der Auswahl der zu analysierenden Werkzeuge. Dies führt zu einer eingeschränkten Sicht auf die aktuelle Marktsituation. Dennoch verdeutlicht die Studie, dass nur wenige Werkzeuge verfügbar sind, die den nativen ISMS-Betrieb ganzheitlich unterstützen. Außerdem erhält der Leser eine Indikation zu den Stärken und Schwächen einzelner ISMS-Tools. Dadurch kann die Studie beispielsweise als Grundlage zur Weiterentwicklung der Werkzeuge genutzt werden und zu einem verkürzten Software-Auswahlprozess im Unternehmen beitragen.

Literaturverzeichnis

[BV15] Bitkom; VKU: Praxisleitfaden IT-Sicherheitskatalog, Anforderungen an die IT für den sicheren Betrieb von Energieversorgungsnetzen (2015).

[Br09] Vom Brocke, J. et.al.: Reconstructing the giant: On the importance of rigour in documenting the literature search process. 17th European Conference on Information Systems (2009).

[CS15] CSC: GSTOOL QUO VADIS? Evaluation von Information Security Management System Tools als Grundschutz Tool Alternativen (2015).

[HH16a] Hofmann, M.; Hofmann, A.: Der ISO27-Sicherheitsprozess: Ein Referenzprozess zur Umsetzung der ISO/ IEC 27001. Multikonferenz Wirtschaftsinformatik (2016)

[HH16b] Hofmann, M.; Hofmann, A.: Anforderungen an eine IT-Lösung für den ISO27-Sicherheitsprozess. DACH Security (2016)

[WP12] Windhorst, I.; Pirzer, B.: Managementsysteme für Informationssicherheit: Marktübersicht. Vorgehensmodell. Handlungsempfehlungen. Fraunhofer Research In-stitution AISEC (2012).

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 1631

Toward a Conceptual Model for Cost-Effective Business Process Compliance

Stephan Kühnel[1]

Abstract: Owing to the constant rise in the number of regulatory requirements, checking and ensuring business process compliance (BPC) becomes increasingly complex and thus more costly. Although managing BPC in a cost-effective way is critical for organisations, it lacks a corresponding domain model. In response, the paper at hand introduces a theoretically grounded conceptual model including necessary domain-specific elements, attributes and methods for cost-effective BPC. The model maps the operating principle of cost-effectiveness calculations in a BPC environment.

Keywords: business process compliance, compliance, cost-effectiveness, conceptual model, domain model

1 Introduction

Business process compliance (BPC) can be characterised as the act of ensuring that the business processes of an enterprise conform to a set of requirements arising from regulations such as laws, directives, internal guidelines, etc. [RLD08, FZ14, Go16]. Various approaches to checking BPC seek to confirm business processes against formally expressed regulatory requirements or so-called formal compliance rules [LMX07]. Such approaches address a variety of checking scopes, including time, information, resources, control flows or location-based aspects [CRR10, FZ14] and consider compliance as a rather technical matter [Sc13]. However, checking and ensuring BPC is not purely a technical challenge. Due to the ever-increasing number of regulatory requirements, checking and ensuring BPC becomes exceptionally complex and thus a cost-intensive task [Sa11, SG15].

The authors of [Sa11], [Sc13] and [SG15] have pointed out that managing BPC in a cost-effective way is critical for organisations and the conceptualisation of a corresponding domain model is needed. A comprehensive conceptual model for cost-effective BPC could map the operating principle of cost-effectiveness calculations in a BPC environment, clarify the interrelations between necessary domain-specific model elements and serve as a conceptual foundation for deriving corresponding mathematical methods, such as domain-specific cost-effectiveness or cost-benefit ratios. Hence, the research objective of this paper is the construction of a conceptual model for cost-effective BPC. The design of the model builds upon a literature-based domain analysis and the methodological notes of March and Smith [MS95]. This contribution is part of a comprehensive research project

[1] Martin Luther University Halle-Wittenberg, Chair of Information Management, Universitätsring 3, 06108 Halle (Saale), stephan.kuehnel@wiwi.uni-halle.de

doi:10.18420/in2017_163

[Kü17] resting upon the design science research (DSR) methodology, which describes a systematic structure for artefact development [GH13]. According to [GH13], a conceptual model for cost-effective BPC represents an artefact that contributes to the prescriptive knowledge base of DSR.

The remainder of this paper is structured as follows. Section 2 outlines related work and includes a literature-based analysis of the BPC domain. Since section 2 shows that existing work is lacking in the comprehensive consideration of domain-specific model elements for conceptualising cost-effectiveness, section 3 introduces a novel conceptual model for cost-effective BPC. The paper closes with a conclusion and an outlook for further research in section 4.

2 Related Work and Domain Analysis

Cost-effectiveness refers to the assessment of measures according to both their costs and their effects with regard to creating outcome [LM01]. As discussed below, the conceptualisation of cost-effectiveness for BPC is accompanied by a number of requirements. The subsequent review of related work is done under consideration of these requirements.

Cost-effectiveness is also known as economic efficiency and refers to the economic principle, which describes the relation between a result (or so-called output) and required means (or so-called input) [KBS09, In15]. This general characterisation can be specified in terms of different means and objectives for various domains, including BPC. The first requirement for the conceptualisation of cost-effectiveness is mapping the input and output of BPC by a *domain-specific input element* (DIE) and a *domain-specific output element* (DOE). The DIE maps particular measures for ensuring compliance and the DOE is the element associated with the results of those measures. Since the cost-effectiveness refers to the assessment of measures [LM01], the second requirement is the presence of a *domain-specific assessment element* (DAE). The DAE serves to contrast DIE and DOE mathematically and thus has to provide methods to calculate the cost-effectiveness of BPC. Such calculations can only be performed if DIE and DOE are measurable [LM01, Be01]. Therefore, the last requirement refers to the representation of DIE and DOE by *attributes* with quantitative (at best, monetary) expressions, such as the cost of compliance measures.

In the following, it is examined whether the cost-effectiveness and its conceptual requirements are considered in related work on conceptual models of the BPC domain. The search for related work was conducted according to the methodological notes on documenting the literature search process of Vom Brocke et al. [Vo09]. It was performed using the following four databases: IEEE Xplore digital library, electronic library of the Association for Information Systems (AISel), Science Direct and SpringerLink. The use of various databases ensures that a broad range of relevant literature can be found and the search results are not restricted to specific publishers [FZ14]. In the first step, the databases were searched for publications whose titles contain the keywords *business process* and *compliance*. The search string *(business process) AND compliance* was used in all four databases,

resulting in a total of 67 hits. In the second step, the 67 contributions found were searched for domain models, meta-models and conceptual models, resulting in seven relevant articles. Those were reviewed with regard to the requirements for the conceptualisation of cost-effectiveness, in particular the existence of adequate DIE, DOE, DAE and corresponding attributes. The outcome is shown in Table 1 and discussed below.

Source	**DIE**	**DOE**	**DAE**	**Attributes**
[SGN07]	Internal Control	Control Objective	-	-
[NS07]	Control	Control Objective	Risk Assessment	-
[Sc10]	Compliance Fragment	Compliance Target	-	-
[Tu11]	Control	Compliance Target	BPC Assessment	-
[Sc13]	Process-integrated Control Mean	Control Objective	Process Assessment	DIE Effectiveness
[ET15]	Control	Compliance Target	BPC Assessment	-
[St16]	Compliance Rule	Compliance Goal	-	-

Tab. 1: Outcome of the analysis of the business process compliance domain

In the models of [SGN07, NS07, Tu11, Sc13, ET15], the DIEs of BPC are control, internal control or process-integrated control mean. Essentially, these DIEs merely differ in wording since they all rest upon the definition of a control as a measure to check, verify or enforce compliance. In a proper sense, a control is defined as a target-performance comparison that ensures compliance provided that the execution of a control is directly requested by a requirement. However, compliance requirements can also constitute obligatory activities, such as reporting duties of the banking sector (see, for example, Section 14 (1) of the German Banking Act (KWG)) which controls as such do not cover. Under these circumstances, the specification of a control as DIE is insufficient for a comprehensive assessment of cost-effectiveness. The DIEs of the models of [St16] and [Sc10] allow covering both kinds of compliance duties, i.e., control activities and obligatory activities. In the model of [St16], an executable formal compliance rule is the DIE of BPC. Formal compliance rules are logical expressions of compliance requirements which are difficult to measure in terms of cost-effectiveness. In the model of [Sc10], the DIE is a compliance fragment representing a process structure that is integrated into a business process in order to ensure compliance. By appropriate quantitative specification of the underlying activities, such process structures are suitable for assessment. However, this specification is not included in [Sc10].

The authors of the related work specify utmost similar elements as DOE of BPC. Control objectives [SGN07, NS07, Sc13], compliance goals [St16] and compliance targets [Sc10, ET15] are derived from requirements and indicate what needs to be done in order to comply. This specification of DOE is insufficient for a comprehensive assessment of cost-

effectiveness, as it merely describes a procedure for achieving a desired state, which is difficult to measure. Besides, the aim of BPC approaches is commonly described as the detection and prevention of impending compliance violations, which corresponds to the hedging of compliance risks [KSS17]. Compliance risks can be represented mathematically [Sc10, ET15, Tu11, Sc13] and thus can be considered as measurable ODEs. In the domain of BPC, a compliance risk is characterised as the potential failure to meet requirements [Sc10] or, more generally, the potential occurrence of an undesired state. Thus, compliance risks are merely perceived as threats [Sc13, ET15, Tu11], which corresponds to a downside risk view [La17, Ma07]. Although [SGN07, NS07, Sc10, Tu11, Sc13, ET15] consider a downside risk as a domain-specific element, it does not represent the DOE in their conceptual models, since they do not characterise the protection against downside risks (or rather violations) as the goal of compliance. Moreover, the focus on downside risks is insufficient for a comprehensive assessment of cost-effectiveness, since it does not correspond to a holistic risk view. The downside risk view solely focuses on uncertain negative consequences [La17, Ma07]. Thus, it neglects the upside risk perspective which refers to uncertain positive consequences, such as increasing sales through positive image effects [Am08].

In the model of [NS07], risk assessment is specified as DAE, which rates the risk of not being compliant. However, [NS07] do not specifically describe what constitutes a risk or how it is measured or assessed. In the models of [Tu11, Sc13, ET15], the DAE is process assessment/BPC assessment. These elements assess the extent to which the DIEs ensure compliance. The models of [SGN07, Sc10, St16] do not contain any DAEs. To put it in a nutshell, extant models do not yet consider DAEs aimed at assessing the cost-effectiveness of BPC. Hence, it is hardly surprising that the attributes of corresponding calculations, such as compliance costs (of DIE), likelihoods or monetary impacts of uncertain consequences (of DOE) are largely lacking. Merely [Sc13] defines the effectiveness as an attribute for specifying the DOE. However, this single attribute is insufficient for a comprehensive assessment of cost-effectiveness.

The domain analysis has shown that related work is lacking in a comprehensive consideration of domain-specific elements and attributes for conceptualising cost-effectiveness. To close this gap, a novel conceptual model for cost-effective BPC is proposed in section 3.

3 A Conceptual Model for Cost-Effective BPC

The proposed conceptual model for cost-effective BPC was constructed in consideration of the methodological notes on models of March and Smith [MS95]. Conceptual models can be used to represent new theories or phenomena through domain-specific elements and their associations and can be constructed based on domain knowledge [MS95]. According to [MS95], the concern of such models is utility, not truth. Correspondingly, a new conceptual model for assessing the cost-effectiveness of BPC is proposed below. The model is based on the previous domain analysis, takes into account the requirements for

conceptualising the cost-effectiveness as discussed in section 2, and was constructed under use of the Unified Modelling Language (UML). Since the UML allows modelling class diagrams at different abstraction levels, it also allows building conceptual models focussing on domain concepts rather than software entities [FG03]. Figure 1 shows a UML class diagram mapping key elements for cost-effective BPC as classes and their relationships as associations.

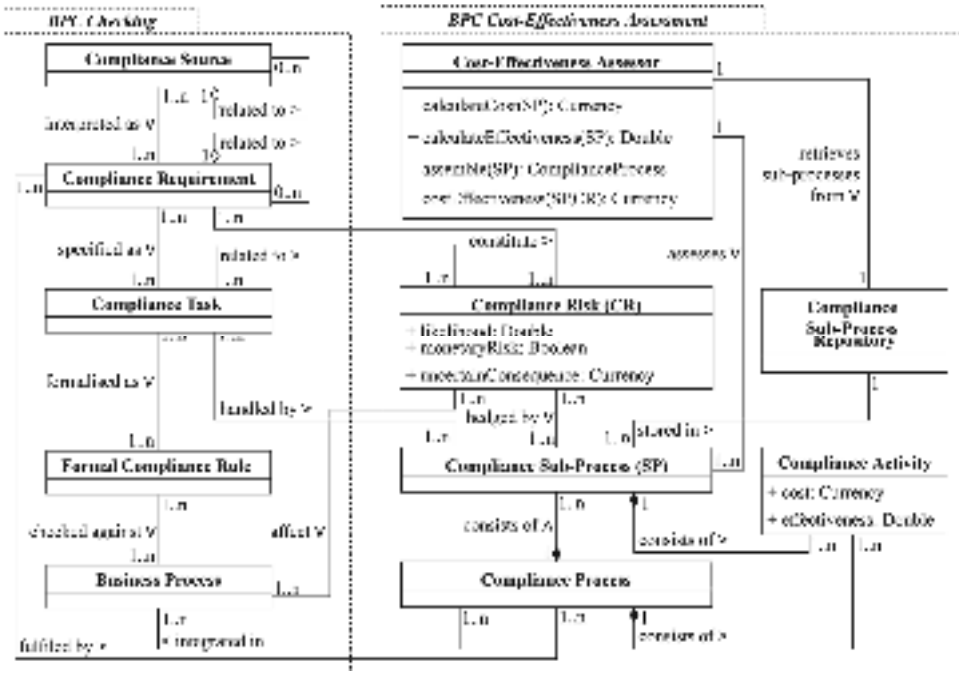


Fig. 1: Conceptual model for cost-effective business process compliance

According to the contributions of [SGN07, NS07, Sc10, Tu11, Sc13, ET15, St16], checking BPC is essentially based on the domain-specific elements as depicted in the UML package *BPC Checking*. These are defined as follows. A *Compliance Requirement* is a condition, obligation or constraint that describes desired results or binding duties. Compliance requirements stem from the interpretation of rather general and mostly textual *Compliance Sources*, such as laws, regulations, internal provisions, contracts, standards, (best practice) frameworks, etc. [Tu11, Sc10]. A compliance source, moreover, defines the origin of compliance requirements [Tu11]. Further specification of each requirement results in one or several operative and organisation-specific *Compliance Tasks*, which serve as activity descriptions. Compliance tasks can be mapped as machine-readable *Formal Compliance Rules*, formalised by logical languages such as Linear Temporal Logic (LTL), Computational Tree Logic (CTL), etc. [Tu11, Sc10]. A *Business Process* is a collection of work items that takes one or more kinds of input and transforms it into a valuable output [HC03]. Business processes are checked against formal compliance rules

by using, for example, process verification tools that aim at inspecting compliant process design [Sc10].

The UML Package *BPC Cost-Effectiveness Assessment* extends the conceptual structure of checking BPC to the perspective of cost-effectiveness, taking into account the requirements discussed in section 2 and corresponding domain-specific elements. These elements are defined as follows. A *Compliance Risk* represents the DOE of cost-effective BPC and describes the possibility of occurrence of an uncertain consequence that can affect a business process. Uncertain consequences can affect business processes both positively in terms of upside risks, such as increasing sales through positive image effects, and negatively in terms of downside risks, such as fines due to compliance violations. Since a compliance risk is represented mathematically as multiplication of the likelihood of occurrence by the extent of an uncertain positive or negative consequence [La17], it is specified by means of the appropriate attributes *likelihood* and *uncertainConsequence*. The additional attribute *monetaryRisk* represents a logical value that indicates whether the attribute uncertainConsequence can be expressed in monetary terms (i.e., in a currency), which is required for subsequent calculations. However, uncertain consequences can also be non-monetary and thus difficult or even impossible to measure in economic terms, such as prison sentences.

The analysis of related work has shown that existing DIEs differ in terms of duties that can be addressed. Hence, the *Compliance Activity* is introduced as an abstract DIE that serves the fulfilment of a specific compliance task and can address both types of compliance duties, i.e., controls and obligatory activities. Compliance activities are specified by the attributes *cost* (for example, the cost of implementation or execution) and e*ffectiveness* of task fulfilment. Both compliance processes and compliance sub-processes consist of such activities. A *Compliance Sub-Processes* represents an elementary process section that can be integrated into a business process in order to ensure compliance with a specific requirement. Moreover, it serves the fulfilment of multiple compliance tasks in order to hedge a specific compliance risk. Following the idea of reusability [NS07, Sc10], such sub-processes can be used to hedge the same risks in diverse business processes. For this purpose, compliance sub-processes are stored in a *Compliance Sub-Process Repository*. A *Compliance Process* is a composite sequence of compliance sub-processes that can be integrated into a business process. It hedges all risks that could affect a specific business process by complying with the set of corresponding requirements.

The *Cost-Effectiveness Assessor* is the DAE of this model. It enables assessing the cost-effectiveness of BPC by contrasting DIE and DOE. Since a compliance sub-process hedges a compliance risk (DOE), the method *costEffectiveness(SP,CR)* contrasts the cost of a specific sub-process (i.e., the monetary input) with the economic benefit of this sub-process resulting from risk hedging (i.e., the monetary output), given the attribute value of monetaryRisk is TRUE. The methods *calculateCost(SP)* and *calculateEffectiveness(SP)* allow calculating cost and effectiveness of compliance sub-processes based on the attribute values of the underlying compliance activities (DIEs). In case of a downside risk, the effectiveness of a compliance sub-process corresponds to the likelihood with

which a negative uncertainConsequence is prevented. In case of an upside risk, the effectiveness of a compliance sub-process corresponds to the likelihood with which a positive uncertainConsequence can be realised. The economic benefit of a compliance sub-process is calculated by multiplying the attribute value of uncertainConsequence by the effectiveness of the corresponding sub-process. The calculated values of monetary input and output can be contrasted and used to determine domain-specific ratios as well as cost-effective compliance sub-processes. Finally, the method *assemble(SP)* composes a compliance process from cost-effective compliance sub-processes which hedge all risks arising from relevant requirements.

The conceptual model proposed in this section includes essential DIE, DOE, DAE as well as corresponding attributes and methods for cost-effective BPC, which are summarised in Table 2. Thus, the model meets the requirements that are associated with the conceptualisation of cost-effectiveness, as discussed in section 2.

	DIE	**DOE**	**DAE**
Name	Compliance Activity	Compliance Risk	Cost-Effectiveness Assessor
Attributes/ Methods	cost, effectiveness	likelihood, monetaryRisk, uncertainConsequence	calculateCost(SP), calculateEffectiveness(SP), assemble(SP), costEffectiveness(SP,CR)

Tab. 2: Domain-specific elements, attributes and methods of the conceptual model

However, the cost-effectiveness assessor of this model is currently restricted to the monetary assessment of compliance measures, since it solely allows comparing both costs and effects when each is measured in monetary terms. Thus, the assessor reaches its limits given non-monetary uncertain consequences (i.e., the attribute value of monetaryRisk is FALSE). The subject of future research is the expansion of the DAE by methods for assessing non-monetary consequences.

4 Conclusion and Outlook

Although managing BPC in a cost-effective way is critical for organisations, a literature review has shown that a corresponding domain model is lacking. In response, this paper introduced a novel conceptual model that extends the conceptual structure of checking BPC to the perspective of cost-effectiveness. The model is grounded on a literature-based analysis of the BPC domain and clarifies the interrelations between necessary domain-specific model elements. Moreover, it maps the operating principle of cost-effectiveness calculations in a BPC environment, taking into account necessary methods and attributes. The model serves as the conceptual foundation for deriving corresponding mathematical methods, which is the consequent next step of research. Besides, there are further research

opportunities. Since the model is theoretically grounded, it requires verification, for example, through empirical studies. In addition, a more detailed investigation of non-monetary uncertain consequences is necessary, as these are not yet readily accessible to an assessment of cost-effectiveness. These research opportunities are subject of prospective investigations.

References

[Am08] Amodu, T.: The Determinants of Compliance with Laws and Regulations with Special Reference to Health and Safety - A Literature Review, London, 2008.

[Be01] Belli, P.: Economic Analysis of Investment Operations: Analytical Tools and Practical Applications. World Bank, 2001.

[CRR10] Cabanillas, C.; Resinas, M.; Ruiz-Cortés, A.: Hints on How to Face Business Process Compliance. In Actas de los Talleres de las Jornadas de Ingeniería del Software y Bases de Datos, 2010, 4; S. 26–32.

[ET15] Elgammal, A.; Turetken, O.: Lifecycle Business Process Compliance Management: A Semantically-Enabled Framework. In Proceedings of the International Conference on Cloud Computing (ICCC), 2015; S. 1–8.

[FG03] Funes, A. M.; George, C.: Formalizing UML Class Diagrams. In (Favre, L. ed.): UML and the Unified Process. IRM Press, Hershey, Pa., 2003; S. 129–198.

[FZ14] Fellmann, M.; Zasada, A.: State-of-the-Art of Business Process Compliance Approaches: A Survey. In Proceedings of the 22th European Conference on Information Systems (ECIS'14), 2014; S. 1–17.

[GH13] Gregor, S.; Hevner, A.: Positioning and Presenting Design Science Research for Maximum Impact. In Management Information Systems Quarterly (MISQ), 2013, 37; S. 337–356.

[Go16] Governatori, G. et al.: Semantic Business Process Regulatory Compliance Checking Using LegalRuleML. In (Blomqvist, E. et al. ed.): Knowledge Engineering and Knowledge Management. EKAW 2016, Bologna, Italy, November 19-23, Cham, 2016; S. 746–761.

[HC03] Hammer, M.; Champy, J.: Reengineering the Corporation. A Manifesto for Business Revolution. HarperBusiness Essentials, New York, 2003.

[In15] International Organisation for Standardization: ISO 9000:2015(en): Quality Management Systems - Fundamentals and Vocabulary.

[KBS09] Kirzner, I. M.; Boettke, P. J.; Sautet, F. E.: The Economic Point of View. An Essay in the History of Economic Thought. Liberty Fund, Indianapolis, 2009.

[KSS17] Kühnel, S.; Sackmann, S.; Seyffarth, T.: Effizienzorientiertes Risikomanagement für Business Process Compliance. In HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik, 2017, 54; S. 124–145.

[Kü17] Kühnel, S.: Toward Cost-Effective Business Process Compliance: A Research Agenda. In Proceedings of the Informatik 2017, Lecture Notes in Informatics (LNI), 2017.

[La17] Lam, J.: Implementing Enterprise Risk Management: From Methods to Applications. Wiley, 2017.

[LM01] Levin, H. M.; McEwan, P. J.: Cost-Effectiveness Analysis. Methods and Applications. SAGE Publications, 2001.

[LMX07] Liu, Y.; Muller, S.; Xu, K.: A Static Compliance-Checking Framework for Business Process Models. In IBM Systems Journal, 2007, 46; S. 335–361.

[Ma07] Marchetti, A. M.: Sarbanes-Oxley Ongoing Compliance Guide: Key Processes and Summary Checklists. Wiley, 2007.

[MS95] March, S. T.; Smith, G. F.: Design and Natural Science Research on Information Technology. In Decision Support Systems, 1995, 15; S. 251–266.

[NS07] Namiri, K.; Stojanovic, N.: Pattern-Based Design and Validation of Business Process Compliance. In Proceedings of On the Move to Meaningful Internet Systems, 2007; S. 59–76.

[RLD08] Rinderle-Ma, S.; Ly, L. T.; Dadam, P.: Aktuelles Schlagwort: Business Process Compliance.

[Sa11] Sadiq, S.: A Roadmap for Research in Business Process Compliance. Springer, Berlin, Heidelberg, 2011; S. 1–4.

[Sc10] Schumm, D. et al.: Business Process Compliance through Reusable Units of Compliant Processes. In Proceedings of the 10th International Conference on Web Engineering (ICWE'10), 2010; S. 325–337.

[Sc13] Schultz, M.: Towards an Empirically Grounded Conceptual Model for Business Process Compliance. In Proceedings of the 32th International Conference on Conceptual Modeling, 2013; S. 138–145.

[SG15] Sadiq, S.; Governatori, G.: Managing Regulatory Compliance in Business Processes. In (Brocke, J.; Rosemann, M. ed.): Handbook on Business Process Management 2. Springer Berlin Heidelberg, 2015; S. 159–175.

[SGN07] Sadiq, S.; Governatori, G.; Namiri, K.: Modeling Control Objectives for Business Process Compliance. In Proceedings of the 5th International Conference on Business Process Management (BPM'07), 2007; S. 149–164.

[St16] Stratigaki, C. et al.: Business Process Elicitation from Regulatory Compliance Documents. In Proceedings of the 18th IEEE Conference on Business Informatics, 2016; S. 8–13.

[Tu11] Turetken, O. et al.: Enforcing Compliance on Business Processes Through the Use of Patterns. In Proceedings of the 19th European Conference on Information Systems (ECIS), 2011.

[Vo09] Vom Brocke, J. et al.: Reconstructing the Giant: On the Importance of Rigour in Documenting the Literature Search Process. In Proceedings of the 17th European Conference on Information Systems (ECIS), 2009; S. 2206–2217.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 1641

Welche Compliance-Anforderungen sind für Geschäftsprozessänderungen relevant? Ein Ansatz zur Modellierung der Beziehungen

Tobias Seyffarth[1], Stephan Kühnel[1] und Stefan Sackmann[1]

Abstract: Gesetze, Normen oder Standards stellen eine Vielzahl, sogenannter Compliance-Anforderungen an Geschäftsprozesse und Informationstechnologie (IT). Änderung an Aktivitäten eines Geschäftsprozesses, IT-Komponenten oder bestehenden Compliance-Anforderungen erfordern weiterhin die Sicherstellung der Konformität des Geschäftsprozesses oder der IT-Komponenten gegenüber ihren Compliance-Anforderungen. Dazu bedarf es einer Methode, die alle von der Änderung betroffenen Aktivitäten, IT-Komponenten oder Compliance-Anforderungen bestimmen kann. Zur Problemlösung wurde die Geschäftsprozessmodellierungssprache Business Process Model and Notation (BPMN) um einen Graphen erweitert, der alle IT-Komponenten und Compliance-Anforderungen beinhaltet. Außerdem wurden Anfragen konzipiert und implementiert, die es erlauben alle Compliance-Anforderungen zu bestimmen, die direkte oder transitive Bedingungen an eine zu ändernde Aktivität oder IT-Komponente stellen.

Keywords: BPMN, Compliance-Anforderung, Geschäftsprozess, Graph, Informationstechnologie

1 Einleitung

Die Einhaltung von Auflagen aus Gesetzen, Normen, Standards, usw. (Compliance-Anforderungen) gegenüber Aktivitäten eines Geschäftsprozesses und deren unterstützenden Komponenten der Informationstechnologie (IT) ist für Unternehmen kritisch [SGN07, KD08]. Viele Faktoren, wie neue Technologien, Prozessverbesserungen oder Outsourcing-Entscheidungen führen zur Änderung von Aktivitäten des Geschäftsprozesses, IT-Komponenten oder Compliance-Anforderungen [RB11]. Die Änderung einer konkreten Aktivität, Compliance-Anforderung oder IT-Komponente (Startelement) erfordert die Beachtung ihrer jeweiligen Compliance-Anforderungen oder die Berücksichtigung der Auswirkungen auf Aktivitäten bzw. IT-Komponenten. Folglich müssen alle Aktivitäten, IT-Komponenten oder Compliance-Anforderungen (Zielelemente) bestimmt werden, die in direkter oder transitiver Beziehung zum Startelement stehen. Daraus ergibt sich folgende Forschungsfrage: Wie können alle Zielelemente bestimmt werden, die bei Änderung eines konkreten Startelements zu berücksichtigen sind?

Die verwendete Forschungsmethode folgt der gestaltungsorientierter Wirtschaftsinformatik [He04]. Der wissenschaftliche Beitrag erfolgt durch Adaption bestehender Methoden

[1] Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Lehrstuhl für Betriebliches Informationsmanagement, Universitätsring 3, 06108 Halle (Saale), vorname.nachname@wiwi.uni-halle.de

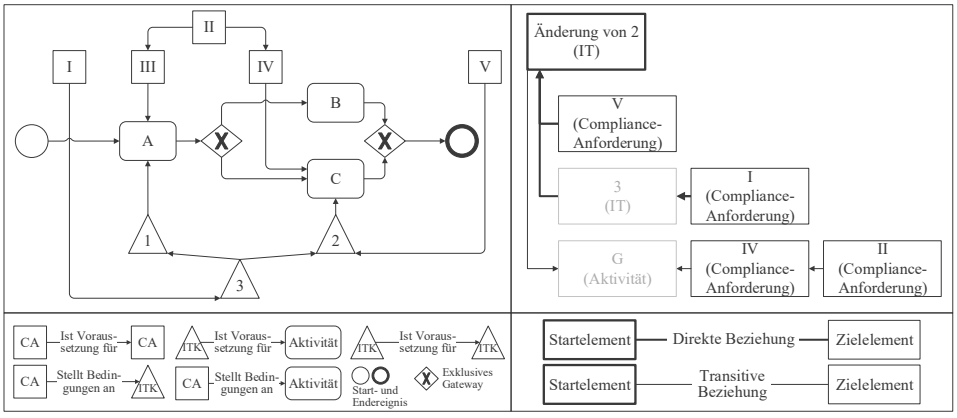
doi:10.18420/in2017_164

auf neue Probleme [HG13] und ist zweigeteilt. Das erste Artefakt ist eine Erweiterung der Geschäftsprozessmodellierungssprache Business Process Model and Notation (BPMN) um einen Graphen. Der Graph enthält sowohl alle Compliance-Anforderungen als auch alle IT-Komponenten und deren Beziehungen zueinander. Das zweite Artefakt ist die implementierte Suchmethode in einem Graphen, die es erlaubt alle betroffenen Compliance-Anforderungen (Zielelemente) zu ermitteln, die Bedingungen an zu ändernde Aktivitäten oder IT-Komponenten eines Geschäftsprozesses (Startelement) stellen.

In Kapitel 2 wird ein Ausgangsszenario gezeigt, bevor in Kapitel 3 die konzeptionelle Umsetzung und eine erste prototypische Implementierung zur Problemlösung des Ausgangsszenarios vorgestellt werden. In Kapitel 4 werden verwandte Forschungsarbeiten diskutiert. Der Beitrag endet in Kapitel 5 mit einem Fazit und Ausblick auf weiteres Forschungsvorhaben.

2 Ausgangsszenario

Abbildung 1a zeigt ein vereinfachtes Geschäftsprozessmodell, das um Sichten auf Compliance-Anforderungen (CA) und IT-Komponenten (ITK) erweitert wurde. Compliance-Anforderungen können wiederum durch andere Compliance-Anforderungen spezialisiert werden und sowohl Bedingungen an Aktivitäten als auch an IT-Komponenten stellen [KD08, SKS16]. Anzahl und Inhalt der Compliance-Anforderungen können dabei zwischen Unternehmen variieren. Unter IT-Komponenten werden hier exemplarisch Hard- und Software verstanden. Eine IT-Komponente kann außerdem die Voraussetzung für eine andere IT-Komponente sein (bspw. ist ein physischer Server eine Voraussetzung für ein Anwendungsprogramm). Weiterhin können IT-Komponenten die Voraussetzung für die Durchführung von Aktivitäten sein.



(a) Geschäftsprozessmodell mit erweiterten Sichten (b) Ergebnis einer Anfrage

Abb. 1: Ausgangsszenario

Vor der Änderung eines Startelements können direkte und transitive Beziehungen zu jedem der Zielelementtypen Aktivität, Compliance-Anforderung und IT-Komponente bestimmt werden. Die Bestimmung erfolgt in Abhängigkeit der Typen der Start- und Zielelemente und erfordert jeweils eine eigene Suchmethode. Sollen bspw. konkrete Aktivitäten oder IT-Komponenten (Startelement) unter Berücksichtigung ihrer Compliance-Anforderungen (Zielelementtyp) verändert werden, müssen alle Compliance-Anforderungen bestimmt werden, die in direkter oder transitiver Beziehung zum Startelement stehen. Abbildung 1b zeigt alle Beziehungen zwischen IT-Komponente „2“ und den Compliance-Anforderungen, die bei einer Änderung von IT-Komponente „2“ zu berücksichtigen sind. Die Kantenrichtungen und -beschriftungen entsprechen denen aus Abbildung 1a:

- Sowohl CA „I“ als auch CA „V“ stehen in direkter Beziehung zu ITK „2“ und stellen folglich direkte Bedingungen an ITK „2“. Da CA „I“ direkte Bedingungen an ITK „3“ stellt, und ITK „3“ eine Voraussetzung für ITK „2“ ist, müssen bei einer Änderung von ITK „2“ auch alle Bedingungen berücksichtigt werden, die CA „I“ an ITK „3“ stellt.
- Sowohl CA „II“ und CA „IV“ stehen in transitiver Beziehung zu ITK „2“. CA „IV“ stellt direkte Bedingungen an Aktivität „C“, dessen Voraussetzung wiederum IT-Komponente „2“ ist. Somit stehen Compliance-Anforderung „IV“ und IT-Komponente „2“ in transitiver Beziehung. Gleiches gilt für Compliance-Anforderung „II“, sie ist Voraussetzung für Compliance-Anforderung „IV“.

Auf Erläuterungen der Beziehungen zwischen dem Startelementtyp Aktivität und dem Zielelementtyp Compliance-Anforderung wird aus platzgründen verzichtet.

3 Bestimmen relevanter Compliance-Anforderungen

3.1 Konzeptionelle Umsetzung

Zur Bestimmung direkter und transitiver Beziehungen zwischen Start- und Zielelement (Abbildung 1b) werden das Geschäftsprozessmodell und seine erweiterten Sichten formalisiert. Die Formalisierung des Geschäftsprozesses erfolgt durch die Geschäftsprozessmodellierungssprache BPMN. Die Elemente der erweiterten Sichten und ihre gegenseitigen Beziehungen werden in einem gerichteten, benannten Multigraphen abgebildet.

Es sei $G = (V, E, F, H, I)$ ein gerichteter, benannter Multigraph, wobei $V = \{1…n\}$ mit $n \in \mathbb{N}$ eine Menge von Knoten, und E eine Menge gerichteter Kanten repräsentieren. Jeder Knoten $v_i \in V$ trägt eine eindeutige Identifikation $f_i \in F$ und ist einem Knotentyp $h_k \in H$ zugeordnet. Die Menge H beinhaltet die Knotentypen „Compliance-Anforderung“ und „IT-Komponente“ aus Abbildung 1a. Eine gerichtete Kante $e_l \in E$ ist die Verbindung zwischen einem Startknoten $v_i \in V$ und einem Endknoten $v_j \in V$ und kann auch durch (v_i, v_j) dargestellt werden. Die Bezeichnung $i_l \in I$ einer Kante $e_l \in E$ bildet die semantischen Abhängigkeiten zwischen zwei Knoten ab. Die Verbindung zwischen einem Knoten aus V

und den Aktivitäten erfolgt durch eine Erweiterung des BPMN-Metamodells. Das BPMN-Element Aktivität wurde um das Attribut „Sichtenerweiterung“ erweitert. Besteht eine Beziehung zwischen einer Aktivität und einer Compliance-Anforderung oder IT-Komponente, ist die eindeutige Identifikation f_i des Knotens v_i der Attributwert der „Sichtenerweiterung“. Die Erweiterung des Geschäftsprozesses um einen Graphen zur Abbildung der erweiterten Sichten stellt das erste Artefakt dar.

3.2 Prototypische Implementierung

Das Ausgangsszenario aus Abbildung 1 wurde in Java prototypisch implementiert. Die Bibliothek „camunda BPMN model API“ [Ca17] ermöglicht den Import von Geschäftsprozessen, deren Syntax dem Austauschformat von BPMN entsprechen. Der Graph *G* wird mit der Bibliothek „JGraphT“ [Na17] implementiert.

Vor der Ermittlung direkter und transitiver Beziehungen zwischen einem konkreten Startelement und definierten Zielelementtypen müssen zwei Schritte durchlaufen werden. Erstens wird der importierte Geschäftsprozess ebenfalls in einen Graphen überführt. Die Menge der Knotentypen umfasst dabei alle im Geschäftsprozess enthaltenen Elementtypen. Zweitens wird der Graph des Geschäftsprozesses mit dem bestehenden Graph der Compliance-Anforderungen und IT-Komponenten verbunden. Basierend auf dem Attribut „Sichtenerweiterung“ der Aktivitäten des Geschäftsprozesses werden die notwendigen Kanten zwischen Knotentypen „Aktivität“ und „Compliance-Anforderung“ bzw. „IT-Komponente“ erstellt.

In Abbildung 2 ist der Pseudocode abgebildet, der alle direkten und transitiven Beziehungen zwischen einem konkreten Startelement des Knotentyps „IT-Komponente“ und den Zielelementtyp „Compliance-Anforderung“ ermittelt. Wie in Abbildung 1b wird das Ergebnis in einem Ergebnisgraphen dargestellt. Die prototypische Implementierung der Methode zur Problemlösung stellt das zweite Artefakt dar. Die Evaluation von Artefakten im Rahmen der gestaltungsorientierten Wirtschaftsinformatik entspricht dem aktuellen Stand der Forschung [He04]. Aufgrund des begrenzten Umfangs wird eine Evaluation in späteren Beiträgen nachgereicht.

```
Input: Graph g, Startelement v ∈ g
1  // bestimme alle Compliance-Anforderungen (ca), die in direkter Beziehung zu v stehen
2  Foreach ca in (bestimme alle Vorgänger von v vom Typ Compliance-Anforderung) do
3  |  markiere ca als direkt
4  |  füge alle ca inkl. aller Knoten zwischen ca und v der ergebnismenge hinzu
5  // bestimme alle Compliance-Anforderungen (ca), die in transitiver Beziehung zu v stehen
6  Foreach it in (bestimme alle Endknoten ausgehend von v vom Typ IT-Komponente) do
7  |  Foreach activity in (bestimme direkte Nachfolger von it vom Typ Aktivität) do
8  |  |  Foreach ca in (bestimme alle direkten Vorgänger von activity vom Typ Compliance-Anforderung) do
9  |  |  |  i = bestimme alle Vorgänger von ca
10 |  |  |  markiere i und activity als transitiv
11 |  |  |  füge it, ca, activity und i der ergebnismenge hinzu
12 Erstelle ergebnisgraph aus g und ergebnismenge
Output: Graph ergebnisgraph
```

Abb. 2: Pseudocode zum Erzeugen eines Ergebnisgraphs

4 Verwandte Forschungsarbeiten

Es existieren Ansätze, automatisiert Anfragen gegen Geschäftsprozesse zu stellen [El14]. Die in [Aw07] entwickelte Anfragesprache, kann BPMN-Modelle auf Basis von Anti-Pattern durchsuchen. [DH15] schlägt einen Ansatz vor, der BPMN-Modelle auf von Vorgänger-Nachfolger-Relationen zwischen Aktivitäten durchsuchen kann. Weitere Ansätze berücksichtigen Sichten auf Compliance-Anforderungen, die an den Geschäftsprozess modelliert werden. So analysieren [El10] die Ursache-Wirkungs-Beziehungen zwischen geänderten Aktivitätsreihenfolgen in Geschäftsprozessen und den betroffenen Compliance-Anforderungen in einem Wirkungsbaum. Sowohl [Kn15], als auch [Fd15] betrachten die Beziehung zwischen Geschäftsprozessen und Compliance-Anforderungen in Geschäftsprozessen zwischen verschiedenen Geschäftspartnern. In [Kn15] werden gefundene Beziehungen in einem Abhängigkeitsgraphen visualisiert. In [RB11] werden ebenfalls Compliance-Anforderungen mit den Aktivitäten im Geschäftsprozess verknüpft. Durch die Speicherung der Compliance-Anforderungen in einem Repository können Änderungen eben dieser erkannt, und die betroffenen Aktivitäten bestimmt werden. In [HBK14] wird die direkte Beziehung zwischen Compliance-Anforderungen und IT-Komponenten diskutiert und prototypisch implementiert.

5 Fazit und Ausblick

Nach dem Stand der Forschung gibt es keinen Ansatz, der alle direkten und transitiven Beziehungen zwischen einem Startelement und den Zielelementtypen Aktivität, Compliance-Anforderung und IT-Komponente vollständig abbilden kann. In diesem Beitrag wurde ein Lösungsansatz vorgestellt, diese Forschungslücke zu schließen. Es wurde vorgeschlagen Aktivitäten, Compliance-Anforderungen und IT-Komponenten als Knoten eines Graphs zu modellieren. Alle semantischen Beziehungen zwischen den Knoten werden durch benannte Kanten abgebildet. Im resultierenden gerichteten und benannten Multigraphen können alle direkten und transitiven Beziehungen zwischen einem Startelement des Typs Aktivität oder IT-Komponente und seinen Compliance-Anforderungen ermittelt werden. Die semantischen Beziehungen zwischen den Elementen ergeben sich aus dem zuvor modellierten gerichteten und benannten Multigraphen.

In weiterer Forschung werden weitere Kombinationen aus Startelement- und Zielelementtyp berücksichtigt. Dadurch ist es bspw. möglich Aktivitäten oder IT-Komponenten zu bestimmen, die direkt oder transitiv von der Änderung einer Compliance-Anforderung betroffen sind. Außerdem werden die Auswirkungen durch das Löschen eines Startelements auf Zielelementtypen untersucht. Zur Operationalisierung von Compliance-Anforderungen werden künftig ebenfalls Compliance-Prozesse berücksichtigt. Ansätze zur getrennten Modellierung von Geschäfts- und Compliance-Prozessen und der situativen Integration beider (bspw. [KSG13]) bilden dabei einen vielversprechenden Ansatz Compliance-Anforderungen trotz Änderungen an Aktivitäten, Compliance-Anforderungen oder IT-Komponenten einzuhalten.

Literaturverzeichnis

[Aw07] Awad, A.: BPMN-Q. A Language to Query Business Processes. In Proceedings of EMISA'07, 2007; S. 115–128.

[Ca17] Camunda: camunda BPMN model API.https://github.com/camunda/camunda-bpmn-model, 22.03.2017.

[DH15] Delfmann, P.; Höhenberger, S.: Supporting Business Process Improvement through Business Process Weakness Pattern Collections. In Wirtschaftsinformatik Proceedings 2015, 2015.

[El10] Elgammal, A. et al.: Root-Cause Analysis of Design-Time Compliance Violations on the Basis of Property Patterns. In: Service-Oriented Computing. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2010; S. 17–31.

[El14] Elgammal, A. et al.: Formalizing and appling compliance patterns for business process compliance. In Software & Systems Modeling, 2014.

[Fd15] Fdhila, W. et al.: Change and Compliance in Collaborative Processes. In 12th IEEE International Conference on Services Computing (SCC 2015), 2015; S. 162–169.

[HBK14] Heddier, M.; Bräuer, S.; Knackstedt, Ralf, Becker, Jörg: Integrating Regulatory Requirements into Information Systems Design and Implementation. In International Conference on Information Systems, 2014.

[He04] Hevner, A. R. et al.: Design Science in Information Systems Research. In MIS Quarterly, 2004, 28; S. 75–105.

[HG13] Hevner, A. R.; Gregor, S.: Positioning and Presenting Design Science Research for Maximum Impact. In MIS Quarterly, 2013, 37.

[KD08] Klotz, M.; Dorn, D.-W.: IT-Compliance — Begriff, Umfang und relevante Regelwerke. In HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik, 2008, 45; S. 5–14.

[Kn15] Knuplesch, D. et al.: Detecting the Effects of Changes on the Compliance of Cross-Organizational Business Processes. In Conceptual Modeling. Lecture Notes in Computer Science, 2015; S. 94–107.

[KSG13] Kittel, K.; Sackmann, S.; Göser, K.: Flexibility and Compliance in Workflow Systems. The KitCom Prototype. In Tagungsband CAiSE Forum - 25th International Conference on Advanced Information Systems Engineering, 2013; S. 154–160.

[Na17] Naveh, B.: JGraphT. http://jgrapht.org/, 22.03.2017.

[RB11] Rudzajs, P.; Buksa, I.: Business Process and Regulations. Approach to Linkage and Change Management. In Lecture Notes in Business Information Processing, 2011, 90; S. 96–109.

[SGN07] Sadiq, S.; Governatori, G.; Namiri, K.: Modeling Control Objectives for Business Process Compliance. In: Business Process Management. 2007; S. 149–164.

[SKS16] Seyffarth, T.; Kühnel, S.; Sackmann, S.: ConFlex. An Ontology-Based Approach for the Flexible Integration of Controls into Business Processes. In Multikonferenz Wirtschaftsinformatik (MKWI) 2016, 2016; S. 1341–1352.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 1647

The Potential Value of Digitization for Business – Insights from German-speaking Experts

Ralf-Christian Härting[1], Christopher Reichstein[1] and Philip Jozinovic[2]

Abstract: IT know-how is one of the main drivers for digitization within enterprises. Besides, new business models evolve from recent digitization processes because of ongoing information technologies in the world of business. The question to solve within this paper is what is the potential value of digitization for business? Some managers are still hesitating or even refusing to enter their enterprises into a digital transformation. This study will be part of a better understanding, that considering several issues of digitization can be worth it! Based on a qualitative research by interviewing German-speaking experts, the authors found six factors (efficiency, innovation, data privacy, mobility, new business models and human integration) and two moderating effects (industry and firm size) that influence the potential value of digitization for business.

Keywords: digitization, business, potential value, German-speaking experts, qualitative study

1 Introduction

As a result of the upcoming fourth industrial revolution, the digitization has become one of the most important economic future topics [Lo16]. However, it's not just about the economy, it also affects the society. "The digitization is omnipresent" [Br14]. Due to the changing economic environment and changing processes caused by digitization many companies are facing an enormous challenge. Conquering this challenge is seen as the "most important management task of our age" [BM16]. Despite being well known, the term digitization has gone through a long evolution [BI16]. Today its meaning is not really clarified within specialist literature as well as the major technologies and processes shown by previous literature research [Sc16].

Digitization can be defined as the transformation of signals and media objects (e.g. documents, images or sounds) in a digital form being processed, stored, and transmitted through digital devices and networks caused by the adoption of digital technologies and application of systems that are built upon them [HSM16]. However, there are different levels of intensity regarding digitization: the pure presentation and information (web-site), the sales channel functions (E-Commerce) and the business process integration (E-Business) to new business models with virtual products and/or services [Sc15a]. As a

[1] Aalen University of Applied Sciences, Business Administration, Beethovenstraße 1, 73430 Aalen, Germany, {ralf.haerting, christopher.reichstein}@hs-aalen.de
[2] Aalen University of Applied Sciences, Competence Center for Information Systems, Beethovenstraße 1, 73430 Aalen, Germany, philipjozinovic@web.de

doi:10.18420/in2017_165

consequence of the digital transformation, companies in all industries have to adapt to the potential of digital approaches, like Big Data, Internet of Things, Cloud and Mobile computing as well as Social Software [BFM17].

2 Research Method

The objective of this study is to identify chances and risks, as well as important aspects which are crucial for the potential value of digitization within companies as it is not clear yet how to profit from digitization in all business related matters considering recent studies. The paper is structured as follows: Chapter 2 represents research methods and the way data was collected. Chapter 3 shows how data was analyzed within this study followed by the research results in chapter 4. In the end, there will be a conclusion in chapter 5. Research Method and Data Collection

The following section explains the research method and applied methodology for collecting and analyzing the interview data in order to find essential drivers regarding the potential use of digitization. The potential use of digitization can be defined as the individually perceived capability of the implementation of digitization technologies [Sc15].

2.1 Research Method

The authors developed a qualitative research study to investigate the potential value of digitization for business. The study design is based on the methodology of Grounded Theory according to Glaser [AW10]. By using Grounded Theory, it is possible to inductively develop a theory based on the data by the use of several procedures [Gl04]. By systematically gathering and analyzing the data during the research process [GS67], the approach of Grounded Theory was used to develop an own theory in order to explain main drivers regarding the use of digitization. Using Grounded Theory allows for the handling of masses of raw data by several analytical tools, while also exploring different phenomena. This is accomplished by identifying and developing concepts which are the building blocks of the theory [SC98].

It has to be noticed that a substantive literature review is not part of the concept of Grounded Theory [GS67], [Cr98], [SAM84]. Instead, this approach is appropriate for discovering new and unknown relations. The researcher should be unbiased when applying this approach. Prior to identifying and developing concepts following the Grounded Theory approach, data has to be collected by interviewing experts in order to build and interrelate main categories. The approach describes potential relationships and generate theoretical suggestions and hypotheses to explain opportunities and risks of digitization for business [SC98].

2.2 Data Collection

The collection of the necessary data among experts was conducted by an online survey, and was executed in the German speaking area (Germany, Austria and Switzerland). Two criteria were determined to define a participant as an expert. First, the participant has to have a minimum two years of experience in the area of IT and second he has to work in an IT department in a managing position, as a consultant in the IT area or as a researcher at a research institute. The experts were formally ad-dressed via email. Informally, personal and social networks were used. For formal contacting, appropriate directories of trade associations [SC98] were used. Further, chambers of commerce and industry were requested to forward the online survey to relevant enterprises respectively experts. Four chambers cooperated, the other denied due to data privacy concerns. Sources of informal contacting were Xing and LinkedIn. More than 30 groups, which deal with subjects (IoT or Industry 4.0) within the frame of digitization, were selected and contacted via the group moderators. Six of the groups supported this study. As a result, the answers of 72 different experts were collected and analyzed. The online survey was conducted between January and March 2016.

The survey was structured as follows: First, the researcher and the study design were introduced. Next, the main part started with a question about the definition of digitization. Regarding enterprises, advantages and disadvantages of digitization have been asked. Following this, the participants were required to state benefits, important technologies, and aspects which must be considered. The next question was about special industries profiting from digitization. The main part has been completed with the questions about the impact of company size on the success of the digitization and innovation processes. The final part of the survey asked for general information about the participants such as department, company size, industry, and location. All questions were based on general aspects of digitization that needed to be clarified.

All of the respondents have been from Germany except one expert from Austria. The recruited participants of this research have an average of 9.81 years work or research experience in the area of IT Management or IT Research. Therefore, a high involvement as well as a strong expertise in this research topic can be assumed. Taking the companies of the survey into consideration as seen in Figure 1, there were 37 participants in companies with less than 500 employees, 25 in firms with a number of workers between 500 and 5.000, and four in firms with more than 5.000 employees.

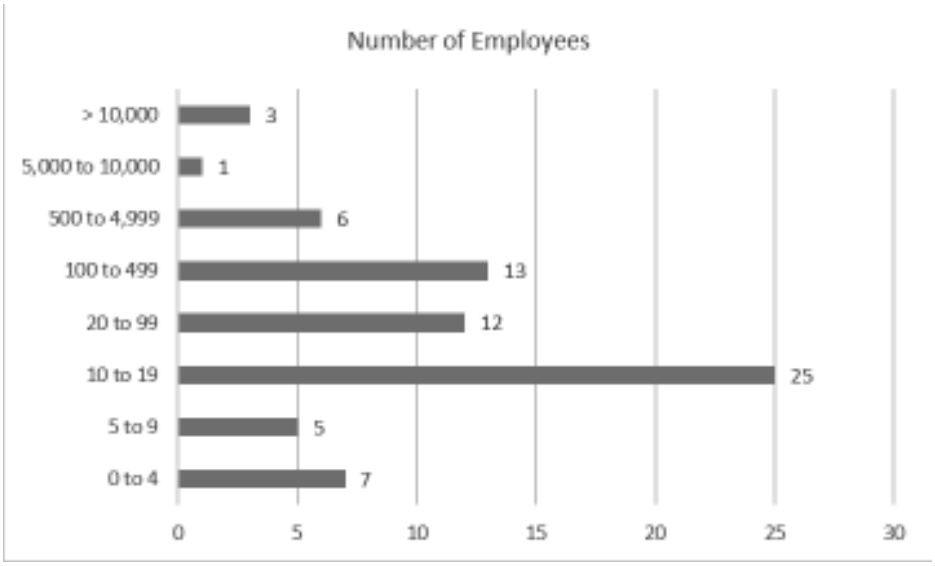


Fig. 1: Number of employees

According to the industries of the participants, as seen in Figure 2, 35 of all experts are working in the IT sector, 17 in the services sector, and nine participants in research.

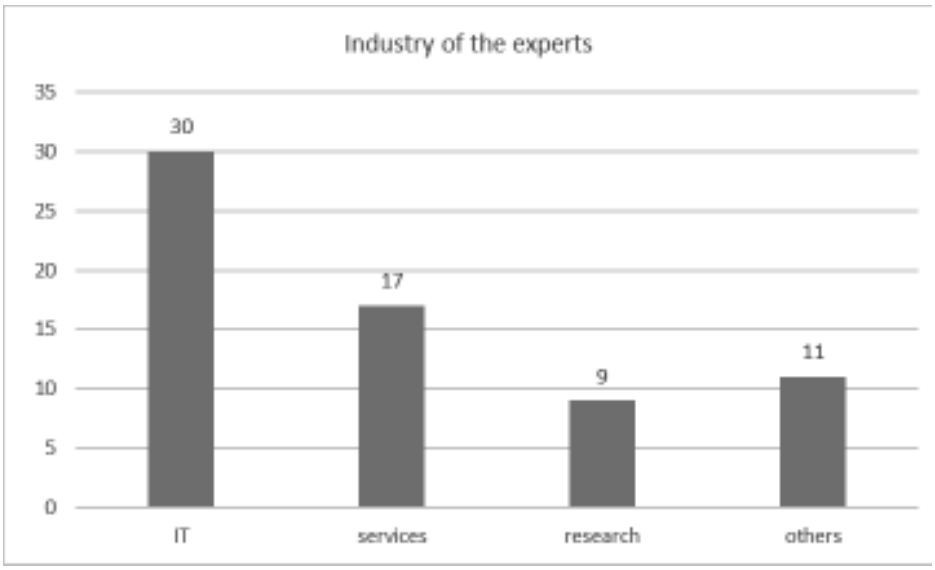


Fig. 2: Industry of the experts

3 Data Analysis

To analyze the collected data, the procedure of coding by Strauss and Corbin [SC98] was used. The described procedure follows a systematic format including open coding and selective coding [SC90]. In the first step, the authors used open coding. By that activity, coherencies within the raw data can be identified by searching for patterns in the process of constant comparison sentence-by-sentence in order to build the initial categories [SC98]. In the next step, related categories were subcategorized and linked to categories with the same property level and dimension. In the third step, the authors used the approach of Glaser. In accordance with Glaser's approach [SC98], the authors introduced the core category, which is the category with the most coherencies to all other categories [SC90]. By open coding the authors realized that for most of the experts the "potential value of digitization" has been an important issue. This core category was also strongly related to all the other identified categories. In the last step of selective coding, all concepts that are weakly related to the core category are eliminated [GS67]. In general, a literature review was not made according to the concept of Grounded Theory as described [SAM84], [LG85].

During the first phase of open coding more than 1,400 codes were generated to structure the collected data. Every single aspect mentioned by the experts was noted. After coding every given answer, the second step of selective coding was executed. Approximately 1,400 codes were subcategorized and merged into less than 30 categories. To decide which of the remaining codes have to be included in the final hypothesis model the numbers of experts, who mentioned these codes, were used. To be included in the model, a code has to be mentioned by at least 30 experts. This was determined to identify the most important aspects which may have a significant influence on the potential value of digitization. The other codes were not considered due to being mentioned by low number of experts. Beneath the pure codes, the probable effects on the potential value of digitization have also been included in the hypothesis model as shown subsequently.

4 Results

After analyzing the empirical data with the method of Grounded Theory, six different influencing factors and two moderating effects have been identified. In the following the factors and the two moderators will be described.

4.1 Efficiency

The first and most recommended positive factor is efficiency. This was mentioned by more than 83% of the experts. The use and integration of the digital technologies of digitization enable companies to optimize their value chain. The acceleration of processes along the value chain was specifically mentioned by the participants.

Important aspects mentioned by the experts are the speed of processes and the potential of minimizing the different types of costs. As a result, an increase in efficiency impacts the value of digitization which leads to hypothesis 1:

H1: Efficiency positively influences the potential value of digitization.

4.2 Innovation

Nearly 81% of the experts stated, that digitization will have a significant positive influence on the innovation process of companies. The frequency of new innovations will increase tremendously due to the faster processes and the improvement of customer integration into these processes. An expert remarked: “Because of the higher availability of information and know-how, the speed of innovation processes will increase continuously.” As a result of the better integration of customer demands into the processes, it is possible to implement a pull-strategy where customers will be specifically asked for new products and services. Hence, an improvement in innovation impacts the value of digitization which leads to hypothesis 2:

H2: Innovation positively influences the potential value of digitization.

4.3 Data privacy

The experts identified a sensitive influencing factor for the potential value of digitization with the handling of data issues. This was named by more than 54% of the participants. Based on the possibility of collecting enormous amounts of individual and company related data, the exposure and security of these sensible data is a very important aspect. One expert said: “The risk of data theft and manipulation increases significantly”. Especially in the context of cloud computing, where the location of the servers plays a major role because of different legal foundations. The authors can summarize that all mentioned concerns about data security can influence the potential value of digitization negatively. In contrast, a high data privacy impacts the value of digitization positively which leads to hypothesis 3:

H3: Data privacy positively influences the potential value of digitization.

4.4 Mobility

In the case of local mobility, cloud computing in the context of mobility was very often mentioned as a positive influence. New digital technologies allow access to necessary information from all around the world. One expert mentioned the following example: “A service worker who is outside the plant gets the information that a machine in a production line needs a service, otherwise there is the possibility of downtime. Thanks to a tablet, he gets this information and he is able to order arrangements fixing this

problem, independently from the location." Based on the contributions of the experts the authors can note that an increase in mobility within enterprises impacts the value of digitization which leads to hypothesis 4:

H4: Mobility positively influences the potential value of digitization.

4.5 New business models

One of the most important positive effects of the digitization is the upcoming of new business models. New digital technologies enable the companies to create completely new products and services, but also can change the value chain processes which leads into a different business model. Thus, the creation of new business models impacts the value of digitization which leads to hypothesis 5:

H5: New business models positively influences the potential value of digitization.

4.6 Human integration

The last significant aspect which was mentioned by the participants is the human integration into the process of digitization. If people are left behind in the changing process which goes along with the digitization, the acceptance of the digitization itself will decrease. Hence, it is an enormous challenge for companies to involve their employees and customers, and to be aware of actions against the dehumanization of the production and processes in general. According to this, integrating humans impacts the value of digitization which leads to hypothesis 6:

H6: Human integration positively influences the potential value of digitization.

4.7 Industry

Beneath these six influencing factors the research identified two moderators. The first one is industry. Although one expert said: "Digitization can optimize every value chain process, no matter in which industry the company acts", numerous of the experts mentioned that the sector of the company can have a different effect on every influencing factor. For example, human integration may be a bigger issue in a manufacturing company where an employee can be afraid of being replaced by a cyber-physical system than in a service company. As a result, industry specifics have an impact on the value of digitization which leads to hypothesis 7:

H7: Industry influences the potential value of digitization.

4.8 Company size

The other moderator is company size. The participants illustrated the impact of the company size on the ability of the companies to succeed in the process of digitization. The major amount of the experts mentioned that a small sized company is often more flexible and faster when it comes to the implementation of new technologies and changing processes. On the other hand, big companies are more experienced in change management, and also have a bigger capital base to advance digitization. The authors can summarize the statements of the experts as follow: The size of a company impacts the value of digitization which leads us to hypothesis 8:

H8: Company size influences the potential value of digitization.

The model of the potential value of digitization is based on empirical data given by German-speaking experts. It might have benefits for enterprises facing digitization with illustrated key aspects. A model, which is depicted in

Fig. *3* below, has been developed based on the collected and analyzed data. It could be a starting point for future research by validating this model via a representative quantitative study.

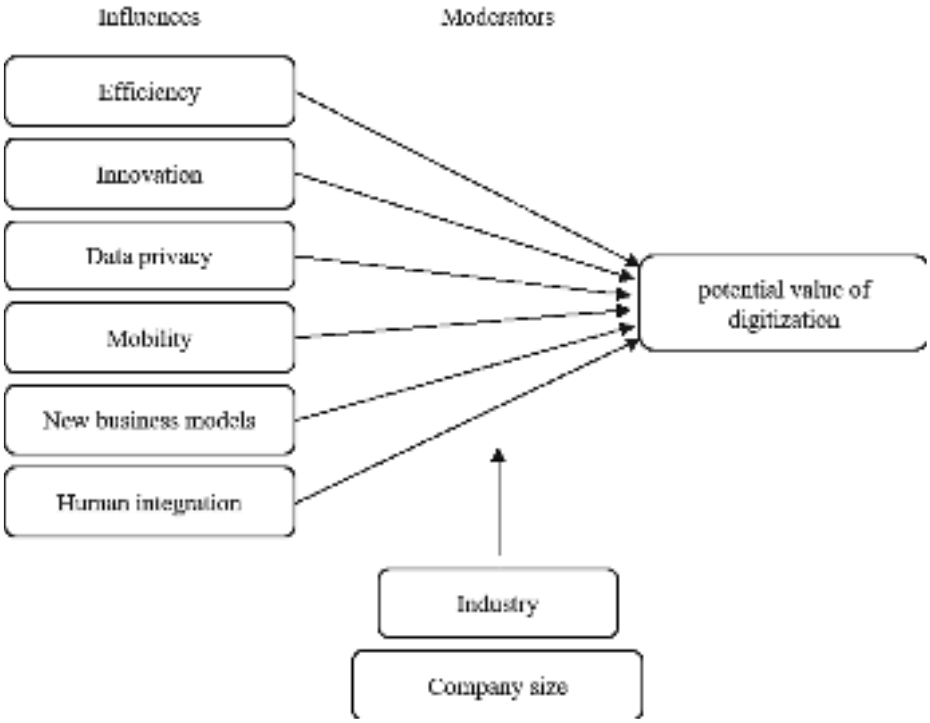


Fig. 3: Potential value of digitization

5 Conclusion

A model of the potential value of digitization, based on empirical data from German-speaking experts using Grounded Theory, was developed. This data shows some important influencing factors like efficiency, mobility, data security, and innovation. Experts in the digitization environment mentioned all these factors repeatedly. For that reason, they can be viewed as a good base for the model as well as the concept of what drives to the potential value of digitization. Furthermore, current research can use these results to extend the current scientific view of potential value of digitization.

There are also some practical implications. Enterprises can benefit from the research by evaluating the different aspects of digitization with their own business cases. In addition, this model can help to find suppliers for their specific requirements. Besides the view of benefits of digital technologies, this research demonstrates other aspects which can have a negative impact on the companies' digitization process.

This qualitative research also shows some limitations due to the fact that it only focuses on a small sample of different experts. Obviously not all experts from all German-speaking countries have been reached. It has to be noted again that a sample that includes different perspectives was created to get reliable information. Nevertheless, a model validation using a quantitative approach is needed to prove this qualitative method using Grounded Theory.

Future research should validate this model via a representative quantitative study (e.g. web-based survey). For that purpose, the influencing factors explored in this research could be an adequate starting point for the set of answers given in the questionnaire of the survey. Evaluating this model in different countries and focusing on different aspects (e.g. data security) is a good opportunity for future research. In this context, a distinguished investigation of single German-speaking states would be interesting as well.

Acknowledgement

We would like to thank Jana Grözinger (Aalen University of Applied Sciences) for assistance regarding the format of the paper and for comments that greatly improved the manuscript.

References

[AW10] Alter, S., Wright, R.: Validating Work System Principles for Use in Systems Analysis and Design. In (ed.): ICIS 2010 Proceedings. Paper 197. 2010.

[BFM17] Breuer, P., Forina, L., Moulton, J., http://cmsoforum.mckin-sey.com/article/beyond-the-hype-capturing-value-from-big-data-and-advanced-analytics (2017).

[BI16] BITCOM, https://www.bitkom.org/Presse/Presseinformation/Digitalisierung-veraendert-die-gesamte-Wirtschaft.html, accessed: 19/03/2016.

[BM16] Brynjolfsson, E., & McElheran, K.: Digitization and innovation the rapid adoption of data-driven decision-making. The American Economic Review, 106(5), 133-139, 2016.

[Br14] Brettel, M., Friedrichsen, N., Keller, M., Rosenberg, M.: How Virtualization, Decentralization and Network Building Change the Manufacturing Landscape: An Industry 4.0 Perspective. In (ed.): International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and manufacturing Engineering Vol: 8, No 1. World Academy of Science, Engineering and Technology, pp. 37-44, 2014.

[Cr98] Cresswell, J. W.: Qualitative inquiry and research design: Choosing among five traditions, Sage Publications, New York, 1998.

[Gl04] Glaser, B. G.: Remodeling Grounded Theory. In (ed.): Qualitative Social Research Vol 5, No 2. 2004.

[GS67] Glaser, B. G., Strauss, A.: The discovery grounded theory: strategies for qualitative inquiry, Wiedenfeld and Nicholson, London, 1967.

[HSM16] Härting, R., Schmidt, R., Möhring, M.: Nutzenpotenziale von Industrie 4.0 und Digitalisierung. In: Härting, R. (ed.) Industrie 4.0 und Digitalisierung – Innovative Geschäftsmodelle wagen! Tagungsband, 8. Transfertag, Aalen 2016, pp. 19–32. BOD, Norderstedt (2016).

[LG85] Lincoln, Y. S., Guba, E. G.: Naturalistic inquiry. Vol. 75, Sage Publications, New York, 1985.

[Lo16] Lobbypedia, https://lobbypedia.de/wiki/Deutsche_Wirtschaftsverb%E4nde, accessed: 19/09/2016.

[SAM84] Stern, P. N., Allen, L. M., Moxley, P. A.: Qualitative research: The nurse as grounded theorist. In (ed.): Health Care for Women International Vol. 5, No 5-6. International Council of Womens Health Issues, pp. 371-385, 1984.

[Sc15a] Schmidt, R., Möhring M., Härting, R., Reichstein, C., Neumaier, P., Jozinović, J.: Industry 4.0 – Potentials for Creating Smart Products: Empirical Research Results. In: Abramowicz, W., Kokkinaki, A. (eds.) 18th International Conference on Business Information Systems. Lecture Notes in Business Information Processing, vol. 208, pp 16–27. Springer, Cham et al. (2015).

[Sc15b] Schmidt, R., Möhring, M., Nurcan, S., Keller, B., Bär, F.: Advances in Service-Oriented and Clod Computing. In: Digitization – Perspectives for Conceptualization. Springer, Wiesbaden, 2015.

[Sc16] Schmidt, H. J.: Digitalisierung: http://www.zeithistorische-forschungen.de/sites/default/files/medien/material/2012-2/Schmidt_2013.pdf, accessed: 19/03/2016.

[SC90] Strauss, A.; Corbin, J.: Basics of qualitative research: Grounded theory procedures and techniques. Sage Publications, New York, 1990.

[SC98] Strauss, A., Corbin, J.: Basics of qualitative research: Procedures and techniques for developing grounded theory, Sage Publications, New York, 1998.

CAAI4Games – Creating Advanced AI For Games

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 1661

Tutorial (TUT06) and Workshop (WS25) on Creating Advanced Artificial Intelligence in Games (CAAI4GAMES)

Marc Ritter [1], Alexander Marbach, Daniel Stockmann, Manuel Heinzig, Christian Roschke, Holger Langner

Das Tutorium und der Workshop zielen darauf ab, die Teilnehmer in die Grundlagen der Spieleentwicklung einzuführen und die erworbenen Fähigkeiten in einem kleinen Projekt (mit vordefinierten Softwarebausteinen bottom-up) praxisorientiert anzuwenden. Zu den zu vermittelnden Lerninhalten gehören:

Grundlagen Game Design und Spielemechaniken: Es werden die Grundzüge der verschiedenen Phasen von Spieleprojekten im Vergleich zur klassischen Softwareentwicklung betrachtet und das Basiswissen des zielgerichteten Interaktions- und Leveldesigns vermittelt.

Emergenz von Künstlicher Intelligenz bei Multiagentensystemen: Emergenz ist ein "Begriff aus der Systemtheorie [...], der das selbstorganisierte Entstehen von geordneten Strukturen aus Unordnung [...] thematisiert"[2]. So lassen sich beispielsweise Individuen eines Schwarms oftmals komplexe Verhaltensmuster zuschreiben, obgleich sie im Grunde nach einzelnen leicht zu implementierenden Verhaltensregeln agieren.

Parallelverarbeitung/Compute Shader: Bei modernen Grafikkarten handelt es sich um Parallelrechner, in denen mehrere Rechenwerke (Shading Units) die gleiche Operation simultan auf mehrere Datenelemente anwenden. Sie lassen sich heutzutage auch für Rechenoperationen nutzen, die nicht der Bildsynthese dienen, z.B. Physik-Simulationen oder Algorithmen der künstlichen Intelligenz. Einer Vorstellung prinzipieller Funktionsweisen eines modernen Grafikbeschleunigers folgt eine Einführung in die GPGPU-Programmierung.

Aufbauend auf diesen Bereichen wird in Gruppenarbeit ein Spiel mit mehreren Agenten in Unity in einer 2D/3D-Welt erstellt. Dieses dient als Sandbox für unterschiedlich parametrierbares KI-Verhalten, wobei traditionelle Ansätze (Zustandsautomaten oder Hidden-Markov-Modelle) modernen vernetzten Verfahren wie Partikelschwärmen gegenübergestellt werden können. Im wissenschaftlichen Diskurs wird unter Einbezug der einzureichenden Beiträge der Teilnehmer gemeinsam eruiert, inwiefern traditionelle und emergente Methoden zur Steuerung der Spielintelligenz und Non-Player-Characters durch moderne Verfahrensansätze ergänzt werden können.

[1] Hochschule Mittweida, Professur Medieninformatik, Technikumplatz 17, D-09648 Mittweida
[2] vgl. http://www.spektrum.de/lexikon/psychologie/emergenz/4021, 30.06.2017

doi:10.18420/in2017_166

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 1663

Ausprägung von Verhaltensprofilen zur Navigation für KI-Agenten in Unity®

Christopher Käding, Holger Langner, Manuel Heinzig, Sebastian Schleier,
Christian Roschke, Rico Thomanek, Marc Ritter [1]

Abstract: Dieser Beitrag untersucht das Verhalten eines klassischen Wegfindungsalgorithmus in einigen künstlich erzeugten Szenarien. Die Umsetzung geschieht mittels der Game-Engine Unity® und deren grundlegendem Navigationsobjekt NavMesh, auf welchem sich ein Agent unter Verwendung einer modifizierten Version des A*–Algorithmus bewegen und selbstständig seinen Weg durch ein aufgebautes Labyrinth finden kann. Für die Evaluation erfolgt eine Parametrisierung verschiedener Agenten, sodass diese in einem für den Kontext passenden Videospiel, wie zum Beispiel einer Rennsimulation, als für den Spieler wünschenswerte und an verschiedenen, menschenähnlichen Persönlichkeitseigenschaften (sicher, neutral, risikobereit, perfekt) orientierte KI-Gegner agieren können. Getestet werden diese auf einer Anzahl spezifisch konzipierter Strecken mit bewusst herausfordernden Charakteristiken, um die Fähigkeiten der Agenten in Extremsituationen zu erproben. Für die quantitative Evaluation gelangen die für die einzelnen Strecken zurückgelegte Zeiten und Wegstrecken sowie die Anzahl an Kollisionen zur Anwendung. Es zeigt sich, dass der beim subjektiven Betrachten erweckte Eindruck über die Qualität der Durchläufe mit den in den Metriken abgebildeten Besonderheiten korreliert. Außerdem offenbart der A*–basierte Algorithmus in den herbeigeführten Grenzsituationen Auffälligkeiten in den Bewegungspfaden. Auf Grundlage der gewonnenen Erkenntnisse über Konzeption, Umsetzung und Bewertung der Experimente können zukünftig auch ähnliche Szenarien mit überschaubarem Aufwand untersucht und evaluiert werden.

Keywords: Künstliche Intelligenz, A*, Wegfindung, Agentenprofile, Unity®

1 Motivation

In den vergangenen Jahren hat sich bei der Kreation von Videospielen die Verwendung so genannter Game-Engines [Gr09, S. 11 f.] zum Standard herausgebildet. Diese geben dem Entwickler einen Grundstock von Werkzeugen an die Hand, mit deren Hilfe sie auf relativ einfachem Weg komplexe Welten erschaffen und die benötigten Interaktionen und Logiken einarbeiten können. Teil der Basisfunktionalitäten sind zumeist auch einfache Versionen von Algorithmen aus dem Bereich der Künstlichen Intelligenz (KI), welche computergesteuerten Gegnern ein Mindestmaß an selbstständiger Handlungsweise ermöglichen. Weiterführende Methoden zeichnen sich im wesentlichen durch den Einbezug eines größeren Parameterbereiches aus, was in einer fortschrittlichen Entwicklungsstufe das adaptive Lernen von

[1] Hochschule Mittweida, Professur Medieninformatik, Technikumplatz 17, D-09648 Mittweida, marc.ritter@hs-mittweida.de

doi:10.18420/in2017_167

Spielerverhalten und entsprechende eigenständige Anpassungen des KI-Gegners in Abhängigkeit von den Leistungen des Spielers erlauben soll. Ein solch individuell angepasstes Verhalten wird aufgrund der Komplexität der unterliegenden Algorithmik in der Praxis nur selten umgesetzt.

An dieser Stelle setzt der vorliegende Beitrag an. Im Folgenden wird ein Vorgehensmodell [Sc82, Kap. 2] für die Untersuchung verschiedener Verhaltensausprägungen von variabel parametrierten KI-Agenten am Beispiel des in der Game-Engine Unity® [Unity17] bereitgestellten implementierten Wegfindungsalgorithmus abgeleitet. In Anlehnung an reale Spielszenarien, exemplarisch eine Verfolgungsjagd durch ein Labyrinth oder ein klassisches Arcade-Rennspiel, wird eine Reihe semantischer Verhaltensprofile erstellt und anhand thematisch passender Metriken eruiert. Die so gewonnenen Erkenntnisse und die entstandene Verfahrenskette sind ein erster, grundlegender Schritt zu einer automatisierten Optimierung der in den KI-Algorithmen verwendeten Parametrierungen und das daraus resultierende Verhalten.

2 Grundlagen

Die Implementierung der parametrisierten KI-Agenten sowie der passenden Strecken finden direkt in der Unity®-Software statt, da sie die benötigten Funktionalitäten bereits ab Werk bereitstellt. Verwendete Komponenten mit zentraler Bedeutung für die Navigation durch eine unbekannte digitale Strecke sind das *NavMesh* [NavMesh17] und der *NavMesh-Agent* [NavMeshAgent17].

Unity® ist eine Laufzeit- und Entwicklungsumgebung für Spiele des Unternehmens *Unity Technologies* mit Hauptsitz in San Francisco. Zur Erstellung der Umgebung und den Agenten werden in diesem Beitrag ausschließlich 3D-Komponenten von Unity® verwendet. Nachfolgende Experimente werden mit einer Bildrate von ca. 50 fps abgetastet. Dadurch ergibt sich ein Abstand von etwa 0,02 Sekunden zwischen zwei aufeinanderfolgenden Messzeitpunkten.

Das Suchverfahren A* [HNR68] bietet eine optimale Möglichkeit der Wegfindung, ist in seiner ursprünglichen Form jedoch aus Performanzgründen für eine 3D-Umgebung und dem dafür notwendigen extrem feingranularen Graph nicht sonderlich geeignet. Um dieses Problem zu lösen, werden die Knoten durch sinnvoll platzierte geometrische Figuren (Polygone) ersetzt [CS11].

Die Entwicklungsumgebung bietet dem Nutzer weiterhin die Möglichkeit, das *NavMesh* an einen Agenten anzupassen. Das erstellte Mesh kann so bei der Navigation die Außenmaße des Agenten ebenso berücksichtigen, wie die maximal erklimmbare Steigung und die Höhe begehbarer Stufen. Der elementare Parameter *Radius* beschreibt dabei den für den Agenten reservierten Raum, in welchen kein anderes Objekt eindringen kann. Ein Agent mit großem Radius kann sich folglich nicht durch einen entsprechend engeren Bereich bewegen. Analog

dazu existiert der Parameter *Height*, welcher die minimal notwendige Durchgangshöhe unter einem Hindernis festlegt.

Der Agent ist eine Komponente, welche das NavMesh abtastet und sich auf ihm fortbewegt. Er kann das Mesh nicht verlassen und ist gezwungen sich bei der Wegfindung an seine algorithmische Logik zu halten. Darüber hinaus ist er an keine physikalischen Regeln gebunden, sondern wird im Raum frei durch Manipulation der Ortskoordinaten verschoben. Die folgenden Parameter sind für die Bewegung relevant.

Acceleration: Die Acceleration gibt sowohl die Befähigung des Agenten zu beschleunigen, als auch zu bremsen an. Sie ist in Unity-Maßeinheiten pro Sekunde im Quadrat angegeben. Unmittelbar daraus ergibt sich der Radius einer zu fahrenden Kurve bei gegebener Geschwindigkeit.

Speed: Dieser Wert beschreibt die maximale Geschwindigkeit des Agenten in Unity-Maßeinheiten/Sekunde. In Abhängigkeit von der Acceleration kann das Erreichen der Höchstgeschwindigkeit eine lange und gerade Strecke bedingen.

Quality: Der Agent versucht je nach Einstellung (none, low, medium, good & high quality) die Kollision mit Hindernissen und anderen Agenten vorsorglich zu vermeiden. Die Qualität gibt hierbei an, wie viel CPU-Zeit in die Berechnung einer möglichst kollisionsfreien Route fließt. Je höher die Qualität, desto näher bewegt sich der Agent an einem Hindernis vorbei. Bei der Einstellung von *none* ignoriert der Agent andere Agenten und Hindernisse und richtet die Route ausschließlich nach den Vorgaben des *NavMeshs*.

3 Vorgehensweise

Das geplante Vorgehen basiert auf zwei Hauptpfeilern. Zum einen muss ein Szenario entstehen, in welchem sich die Agenten bewegen können. Zum anderen sind die Agenten selbst in einer ökonomischen Art und Weise in der Software umzusetzen und einzubinden. Diese beiden groben Oberpunkte werden durch Anforderungen und perspektivische Konzepte weiter spezifiziert, sodass die endgültige Vorgangsbeschreibung aus vier Hauptteilen besteht.

Modellierung der Szene: Aus vorher klar definierten Grundbausteinen entstehen einige Strecken mit verschiedenen Charakteristiken, auf denen sich der Agent eigenständig vom Start zu einem Zielpunkt bewegen soll. Für zufriedenstellende Testergebnisse müssen die Strecken gewissen Basisansprüchen genügen: (i) Sie soll eine plausible Ideallinie beinhalten, die von jedem Agent gleichermaßen bewältigt werden kann. (ii) Sie soll Unterschiede und Besonderheiten zwischen den Verhaltensprofilen der Agenten zur Geltung kommen lassen. (iii) Sie soll klar definierte Anhaltspunkte zum Auslesen numerischer Werte für eine spätere statistische Auswertung im Bezug auf die von den Agenten zu lösende Aufgabe bereitstellen. Grundsätzlich soll eine Strecke also schematisch klar strukturiert und für jeden Agent ausführbar sein und mindestens einen Start- und Endpunkt enthalten, um an diesen fest definierte Informationen abrufen zu können.



Abb. 1: Typische Wegeverläufe der vier definierten Agententypen für die drei Strecken: Track 1 (links), Track 2 (Mitte) und Track 3 (rechts).

Entwicklung eines prototypischen Agenten: In einer ersten Iteration ist ein Agent auf die einfachst mögliche Art und Weise zu implementieren. Auf einer sorgfältig konzeptionierten Strecke kann sich dieser nach grundlegenden Regeln vom Start zum Ziel bewegen. Seine Umsetzung unterliegt den folgenden Anforderungen: (i) Die Entwicklung muss unmittelbar mit den im jeweiligen Tool vorhandenen Werkzeugen möglich sein. (ii) Die notwendige intellektuelle Anpassung der Verhaltensparameter soll einfach realisierbar sein. Die verwendete Game-Engine stellt für diese Zwecke ein einfaches Navigationskonzept bereit, dessen Anwendung sich in den generellen Arbeitsfluss von Unity® einbettet.

Experimente mit prototypischer Parametrisierung: Nach Erstellung aller notwendigen Softwarebestandteile können die ersten, grundlegenden Experimente durchgeführt werden. Die genutzten Parameter sind dabei entweder auf vorgegebene Standardwerte oder manuell ermittelte Größen gesetzt. Der vorliegende Beitrag skizziert dieses Verfahren und dokumentiert die damit festgestellten praktischen Ergebnisse.

Experimente mit automatischer Parameteranpassung: Als endgültige Iteration soll der Agent in der Lage sein, sein Verhalten selbständig anzupassen. Diese Variante erfordert tiefgreifendes mathematisches Fachwissen und umfassende Programmierfertigkeiten und kann daher im Rahmen des vorliegenden Beitrags nur ausblicksartig inspiriert werden.

Die aufgeführten Punkte skizzieren das Vorgehen für einen iterativen Entwicklungsprozess, der im Detail an den jeweiligen konkreten Projektkontext angepasst werden kann. Im Fokus dieser Publikation steht als Machbarkeitsstudie die Umsetzung der ersten drei Vorgehensschritte. Es wird dazu eine funktionsfähige Softwaregrundstruktur vorgestellt,

die die Durchführung einfacher Experimente mit mehreren individuell parametrisierten KI-Agenten ermöglicht und erste Ergebnisse betrachtet.

4 Experimentelles Setup

Für die Durchführung der Experimente sind drei Strecken vorgesehen. Diese sind jeweils aus einem Raster von 14 x 21 Einheiten aufgebaut, deren Kantenlänge einer Unity-Maßeinheit entspricht. Als Hindernisse dienen Formen unterschiedlich aufgeteilter Einheitsquadrate: Ein vollständig solider Block mit einer Kantenlänge von einer Unity-Maßeinheit und ein halber Block, wobei dessen Trennlinie entlang der Diagonale stattfindet, sodass Einteilungen im 45-Grad-Winkel möglich sind. Mittels dieser Formvariationen lassen sich die im nachfolgenden Abschnitt beschriebenen Strecken im genormten Raster erzeugen.

4.1 Strecken

Die generierten Strecken sind in drei unterschiedliche Schwierigkeitsgrade unterteilt. Hierfür wurden folgende Bedingungen festgelegt:

Track 1 (einfach): Die erste Strecke soll keine große Herausforderung für die einzelnen Agenten darstellen. Zum Manövrieren in den Kurven sind große Auslaufzonen vorhanden. Weiterhin gibt es keine alternativen Wege und Abzweigungen, wobei selbst eine Kollision mit der Wand weniger schwerwiegend erscheint.

Track 2 (mittel): Die zweite Strecke soll für bestimmte Agententypen erste Herausforderungen bieten. Hier existiert ein alternativer Zielweg und Fehler beim Verpassen von Abzweigen werden durch zeitaufwändige Wendemanöver bestraft.

Track 3 (schwer): Die letzte Strecke stellt eine große Herausforderung für die Agenten dar. Die Maximalgeschwindigkeit ist seltener erreichbar, da häufige und enge Kurven die Beschleunigung erschweren. Ferner stellen Abzweigungen die Agenten vor Entscheidungen.

Bei allen Strecken startet das Tracking der Agenten erst nach einer vordefinierten Initialisierungszeit von einer Sekunde, in der jegliche Bewegungen ausgeschlossen sind. Das Tracking ist zu Ende, sobald der Agent das Ziel erreicht und am Zielpunkt eine Geschwindigkeit von Null aufweist.

4.2 Profile und Parametrierungen

In Anlehnung an menschliche Charakterzüge [Sc05] erhalten die virtuellen Agenten anhand weniger Einstellungen einen jeweils eigenen Fahrstil. Die dafür notwendigen Parametervariationen werden im Folgenden erläutert.

4.2.1 Gemeinsame Parameter

Die Beschreibung der Standardparameter findet im Abschnitt 2 statt. Dabei fällt auf, dass der den Agenten zugewiesene Radius kleiner ist als der verwendete *Box Collider*. In Zusammenspiel mit den unterschiedlichen geometrischen Formen (Zylinder und Würfel) ist es somit möglich, dass der Agent selbst dann mit einem Hindernis kollidiert, wenn er eine hohe Kollisionsvermeidung verwendet. Außerdem nutzen alle Agenten die Komponente *Rigidbody* um Kollisionen zu erkennen. Damit die weiteren Anwendungsfelder von *Rigidbody* nicht die planmäßige Durchführung der Streckendurchläufe verhindern, erhalten sie jedoch eine Masse von annähernd Null zugewiesen.

4.2.2 Individuelle Parametrisierung

Einige Parameter sind von Agent zu Agent unterschiedlich und verleihen ihnen ihre einzigartige Persönlichkeit. Die Tabelle 1 gibt eine Übersicht über alle variierten Einstellungen.

Agententyp	Höchstgeschwindigkeit	Beschleunigung	Kollisionsvermeidung
Safe	15	50	high
Neutral	30	20	medium
Risky	60	20	none
Cheater	60	1000	none

Tab. 1: Parameter der einzelnen Agenten

Die Parametrisierungen wurden so gewählt, dass sich vier verschiedene Agententypen ergeben. Diese weisen jeweils ein charakteristisches Bewegungsverhalten auf, um idealtypische, gut unterscheidbare Skill-Levels oder Spielcharaktere aus Sicht eines menschlichen Spielers zu repräsentieren.

- **Agent *Safe* (lila):** Dieser Agent bewegt sich sehr langsam durch die Strecke. Er versucht, Kollisionen und überflüssige Wege zu vermeiden, sollte also die Ideallinie finden.
- **Agent *Neutral* (türkis):** Der ausgeglichene Agent bildet einen Kompromiss zwischen dem Finden einer hohen Geschwindigkeit und dem Vermeiden überflüssiger Wege. Dadurch kann er gelegentlich aus der Kurve getragen werden.
- **Agent *Risky* (grau):** Bei dem riskanten Profil fährt der Agent sehr schnell, wodurch er allerdings häufig von der optimalen Kurve abweichen und Kollisionen verursachen wird.
- **Agent *Cheater* (gelb):** Dieser Agent ist eigentlich nicht schlagbar. Er fährt nahe der Idealline mit einer sehr hohen Geschwindigkeit und gleichzeitig großer Beschleunigung, wodurch sein Wendekreis sehr klein bleibt.

4.2.3 Implementierung

Eine Beschreibung des in Unity® verwendeten Navigationssystems findet in Abschnitt 2 statt. Zusätzlich zu den bereits vorhandenen Funktionen werden verschiedene, problemspezifische Skripte implementiert. Dabei modelliert ein Skript das Agentenverhalten; ein weiteres zeichnet folgende relevante Bewegungsdaten des Agenten in einer Log-Datei auf:

- **Position:** Die Fläche, auf der sich der Agent fortbewegt, wird mit einem definierten Raster versehen. In unserem Fall entspricht dies 1400 x 2100 Einheiten.
- **Kollisionen:** Bei der Kollision des Agenten mit einem anderen Objekt schreibt das Skript den Position des Hindernisses heraus. Da keine physikalischen Außenbegrenzungen der Strecken mit Hindernisobjekten modelliert wurden, findet an Rand des *NavMeshs* zwar eine Begrenzung der Bewegung, aber keine Kollisionsdetektion statt.
- **Geschwindigkeit:** Die Geschwindigkeit, ermittelt durch die Differenz zwischen der aktuellen Position und der Position zum Zeitpunkt des letzten Frames.Sie verwendet als Einheit die *Unity-Maßeinheit pro Frame*; die näherungsweise Umrechnung in *Unity-Maßeinheit pro Sekunde* erfordert die Multiplikation mit der Abtastrate von 50 Hz.

5 Evaluation

Im Zuge der Evaluation sollen die aus den gewählten Parametrierungen resultierenden Bewegungsprofile näher untersucht werden. Von Interesse ist dabei zum einen, welche qualitativen Varianten von Bewegungsmustern mit den sehr einfachen Beschreibungsmitteln zur Agenten- und Streckenmodellierung überhaupt erzielt werden können. Zum zweiten ist zu bewerten, ob sich charakteristische Unterschiede zwischen den gewählten Agententypen ausprägen und in welchem Maße diese mit quantitativen Metriken statistisch zuverlässig erfassbar sind, um die Grundlage für eine spätere automatische Parameteranpassung zu legen.

5.1 Vorgehen zur Evaluation

Im Rahmen der Evaluation werden die Auswirkungen der individuellen Parametrierungen auf das Agentenverhalten untersucht. Dazu wurden für jeden Agententyp und für jede Strecke mehrere Durchläufe realisiert und dabei mit Hilfe des Loggingskripts der jeweils zurückgelegte Bewegungspfad vollständig aufgezeichnet.

Um Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen allen Durchläufen in quantitativen Statistiken zu erfassen, wurden anschließend pro Durchlauf folgende Metriken erhoben:

Rundenzeit, zurückgelegte Weglänge, Anzahl Kollisionen in einem Durchlauf sowie das Histogramm des Geschwindigkeitsprofils.

Zum Zweck der Auswertung des Agentenverhaltens nach qualitativen Merkmalen wurden einzelne Datenattribute in eine zweidimensionale Heatmap-Darstellung integriert, die eine Draufsicht auf die Strecke repräsentiert. Für die qualitative Untersuchung sind vor allem folgende Fragestellungen von Interesse:

- Führen die verschiedenen Parametrierungen zu qualitativ unterschiedlichen Varianten von Bewegungsmustern und werden diese aus Sicht eines menschlichen Spielers auch als solche wahrgenommen?
- Resultieren aus der Umsetzung des Simulationsmodells in Unity® Besonderheiten im Agentenverhalten oder gar unplausible Bewegungsmuster?

Die Ergebnisse der Evaluation sollen dann eine Abschätzung ermöglichen, ob die Modellierungsmöglichkeiten ausreichend sind, um KI-Agenten mit plausiblen und als unterschiedlich wahrnehmbaren Fähigkeitsstufen zu entwickeln.

5.2 Resultierendes Agentenverhalten

Dieser Abschnitt fasst die Ergebnisse der quantitativen und qualitativen Untersuchungen zusammen, und stellt zu diesem Zweck die eingangs gewählten vier Agententypen einander gegenüber.

5.2.1 Quantitative Auswertung des Agentenverhaltens

Im Ergebnis mehrerer Durchläufe ergibt sich die statistische Gegenüberstellung in Tabelle 2.

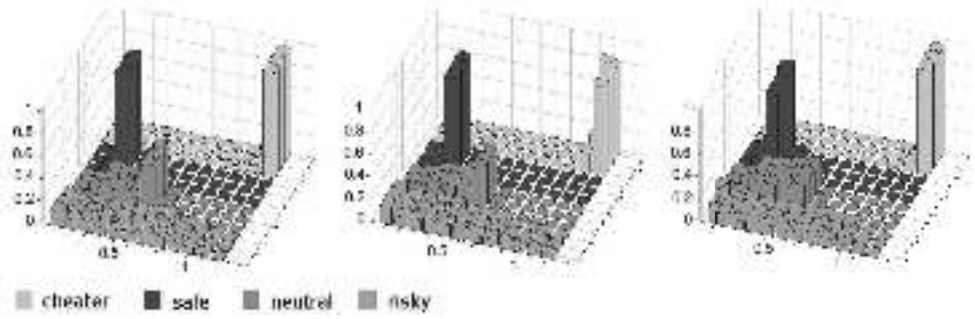


Abb. 2: Histogrammdarstellung der Geschwindigkeitsprofile aller Agententypen und Strecken

Messgröße	Strecke	Cheater	Neutral	Risky	Safe
Streckenzeit (μ, σ)	1	5.98 (0.01)	19.54 (0.10)	25.19 (2.26)	25.32 (0.18)
Kollisionen (μ, σ)	1	10.33 (0.58)	3.00 (1.73)	24.67 (4.04)	13.00 (1.73)
Wegstrecke (μ, σ)	1	3479 (3.16)	4349 (4.36)	6396 (386.92)	3482 (1.20)
Streckenzeit (μ, σ)	2	6.57 (0.03)	21.47 (0.06)	46.12 (1.80)	28.12 (0.11)
Kollisionen (μ, σ)	2	10.67 (0.58)	8.67 (1.53)	54.00 (10.39)	10.67 (0.58)
Wegstrecke (μ, σ)	2	3737 (2.55)	4494 (39.02)	10316 (303.44)	3774 (6.81)
Streckenzeit (μ, σ)	3	10.5 (0.02)	40.69 (0.07)	39.98 (0.22)	45.95 (0.15)
Kollisionen (μ, σ)	3	14.67 (1.15)	24.67 (1.53)	57.33 (18.50)	10.33 (0.58)
Wegstrecke (μ, σ)	3	6203 (10.76)	7821 (11.99)	9514 (52.46)	6212 (2.94)

Tab. 2: Quantitative Auswertung des Agentenverhaltens für drei Strecken

Die Agenten *Cheater* und *Safe* markieren augenscheinlich die gegenüberliegenden Skalenendpunkte an potentiellen Ausprägungen von Bewegungsmustern, die gemeinsam weitgehend einer Ideallinie folgen. Dabei sind die Fähigkeiten eines menschlichen Spielers im Laufe seiner Fähigkeitsausprägung am ehesten knapp oberhalb des Agenten *Neutral* oder zwischen diesem und Agent *Safe* einzuordnen, während der Agent *Cheater* einen nicht erreichbaren Extremwert bezüglich der schnellsten Rundenzeiten repräsentiert. Agent *Risky* fügt dieser Bandbreite an Fähigkeitsstufen eine weitere Variante hinzu: Er ist über weite Strecken ein sehr herausfordernder Gegner, der auch den Agenten *Neutral* vereinzelt schlagen kann. Jedoch ist er stark fehleranfällig, so dass sich für einen menschlichen Spieler im Streckenverlauf Überholmöglichkeiten ergeben.

Eine eindeutige quantitative Abgrenzung aller vier Agententypen ist auf der Grundlage der in Tabelle 2 erfassten Werte allein jedoch nicht möglich. Daher wurden die Geschwindigkeitsprofile aller Agenten und Durchläufe in normierte Histogramme übertragen. Abbildung 2 zeigt für jedes der drei Streckenprofile einige ausgewählte Geschwindigkeitshistogramme. Die waagerechte Achse gibt die Geschwindigkeit, und die senkrechte Achse den zugehörigen Häufigkeitsanteil dieser Geschwindigkeit im jeweiligen Durchlauf an. Alle vier Agententypen wurden (markiert mit der zugehörigen Farbe) hintereinander aufgestaffelt, und pro Agent drei exemplarische Durchläufe für die Abbildung ausgewählt.

Daraus lässt sich abschätzen, dass bereits die individuelle Parametrisierung mit einer Out-of-the-Box-Methode zu Agententypen geführt hat, die anhand der Charakteristika ihrer Geschwindigkeitsverteilung zuverlässig statistisch identifizierbar sind. Die einzelnen Parametrierungen unterscheiden sich sowohl in der Ausprägung des globalen Maximums der Geschwindigkeitsverteilung, als auch in den Varianzen sehr eindeutig voneinander. Der nachfolgende Abschnitt führt dies im Zusammenhang mit der qualitativen Untersuchung der Bewegungsmuster näher aus.



Abb. 3: Charakteristische Bewegungspfade aller vier Agenten.

5.2.2 Beobachtbare Varianten im Agentenverhalten

Abbildung 3 überblendet charakteristische Bewegungspfade der vier Agententypen innerhalb desselben Streckenausschnitts aus Strecke 3, um die Bewegungscharakteristiken zu veranschaulichen.

Agent *Safe* (im Bild violett) folgt immer der kürzesten Wegstrecke bis zum Ziel und fährt dabei auf Grund seiner geringen Endgeschwindigkeit alle Ecken von Hindernissen direkt an. Auch kann er von seiner Endgeschwindigkeit auf kurzer Strecke so stark verzögern, dass er ohne signifikanten Seitenabstand direkt um eine Hinderniskante herum navigieren kann. Der Agent bewegt sich in seinem Geschwindigkeitsprofil fast immer konstant mit der gewählten Endgeschwindigkeit, die wesentlich unter der aller anderen Agententypen liegt. Der Einfluss des gewählten Setups für die Hindernisvermeidung ist an diesem Agententyp ebenfalls gut nachvollziehbar. Es finden von Zeit zu Zeit Kollisionen mit Hindernisecken, aber vereinzelt auch mit geraden Hinderniskanten statt, da die Empfindlichkeit des vorsorglichen Kollisionsvermeidungsverhaltens gegenüber der Kollisionsdetektion in allen vier individuellen Parametrierungen sehr weit herabgesetzt wurde.

Agent *Neutral* (im Bild blau) fährt auf Grund seiner höheren Endgeschwindigkeit größere Kurvenradien und kollidiert dadurch von Zeit zu Zeit mit Hinderniskanten, die dem Bewegungskorridor gegenüberliegen, so dass eine aufwendige Umkehrbewegung auf den Zielkurs notwendig wird. Solange keine derartigen Kollisionen auftreten, kann der Agent innerhalb eines hohen Anteils im Geschwindigkeitsprofil eine hohe Endgeschwindigkeit beibehalten.



Abb. 4: Charakteristisches Kurvenverhalten der vier Agenten.

Agent *Risky* (im Bild grau-magenta) fährt durch seine zu hohe Endgeschwindigkeit Kurven so weit aus, dass er häufig sowohl mit gegenüberliegenden Hinderniskanten als auch mit den äußeren Streckenbegrenzungen kollidiert, wie der vergrößerte Ausschnitt aus Strecke 1 in Abbildung 4 zeigt.

Die Gesamtzahl an Kollisionen über alle Streckenverläufe hinweg liegt bei Agent *Risky* deutlich über der aller anderen Agententypen. Auch verlässt er die optimale Wegstrecke dabei soweit, dass er über mehrere Elemente eines *NavMesh* hinweg umkehren muss, um diese wieder zu finden. Beim Umkehren kann er dabei in eine Pendelbewegung geraten, in deren Verlauf er die richtige Abzweigung zum Ziel mehrmals verfehlt. Dieses Pendeln tritt häufig auch um den Zielpunkt herum auf, was sich für die Spielszene als unplausibel erweist und durch eine alternative Modellierung des Ziels im Streckendesign (z.B. Zielstrich anstelle eines Kollisionspunktes) behoben werden sollte. Diese Pendelbewegungen lassen sich anhand von Abbildung 5 nachvollziehen (der Zielpunkt ist hier jeweils als türkisfarbener Kreis dargestellt).

Agent *Risky* übertrifft in einzelnen Streckenabschnitten die Endgeschwindigkeit des Agenten *Neutral* signifikant. Die häufigen Kollisionen beeinträchtigen seine Navigation allerdings so stark, dass diese hohe Endgeschwindigkeit nur über geringe Anteile im Geschwindigkeitsprofil hinweg überhaupt erreicht werden kann. Stattdessen treten im Geschwindigkeitsprofil nun Bereiche auf, in denen die Momentangeschwindigkeit sogar noch unter der des Agenten *Safe* liegt.

Agent *Cheater* (in den Abbildungen gelb) generiert einen beinahe identischen Pfad wie Agent *Safe* d.h. ist in der Lage, den kürzestmöglichen Pfad mit einer konstanten Geschwindigkeit zu verfolgen, die diejenige aller anderen Agententypen weit übertrifft. Etwaige Kollisionen haben dabei keinen Einfluss, da der Agent auf Grund seiner hohen Beschleunigung seine Höchstgeschwindigkeit innerhalb eines Simulationszeitschrittes wieder erreichen kann. Das

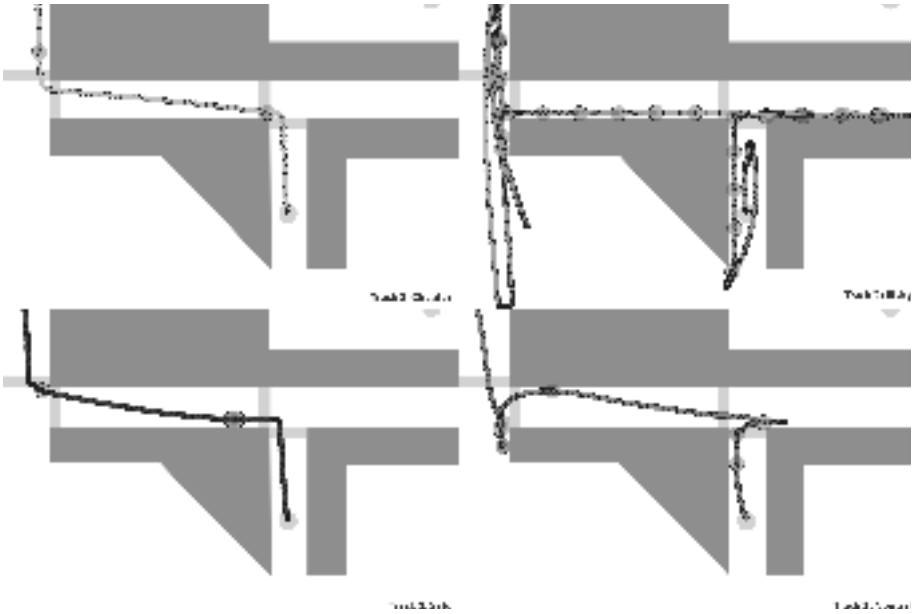


Abb. 5: Detailausschnitt aus charakteristischen Bewegungspfaden.

Verhalten zur Kollisionsvermeidung ist in der Parametrierung abgeschaltet worden. Dadurch kommen auch lokale Unterschiede zum Navigationspfad des Agenten *Safe* zustande.

5.2.3 Auffällige Bewegungsmuster

Anhand der grafischen Darstellung einzelner Bewegungspfade werden Besonderheiten im Agentenverhalten augenfällig, die sich aus der Referenzdokumentation für Unity®-Entwickler nicht direkt ableiten lassen, sondern einer weitergehenden Eruierung des zugrundeliegenden dynamischen Simulationsmodells bedürfen.

So ist etwa Agent *Safe* in der Lage, einer geraden Hinderniskante exakt parallel zu folgen, während die Trajektorie von Agent *Neutral* minimal hin und her pendelt. Auch lässt sich häufig beobachten, dass das Hindernisvermeidungsverhalten in der Regel nicht sofort einen optimalen Ausweichkurs generiert (wie z.B. den direkten Kurs zum Zielpunkt, falls eine Sichtlinie existiert). Stattdessen resultiert meist eine davon abweichende Ausweichrichtung, augenscheinlich weil eine weitere nicht näher spezifizierte Vektorkomponente in die Berechnung einfließt.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Es stellt sich heraus, dass bereits mit den in Unity® verfügbaren Möglichkeiten signifikant divergente Profile für einzelne Agenten modelliert werden können. Deren Bewegungsmuster bleiben in den Versuchen über mehrere verschiedene Strecken weitgehend ähnlich. Dieser Zusammenhang lässt sich durch qualitative und quantitative Metriken konkret beschreiben. Dieser Punkt bildet eine wichtige Grundlage für zukünftige Forschungsarbeiten zur Automatisierung des Vorgangs zur Parameteranpassung an gewünschte Fähigkeitsstufen.Ferner wäre als ein künftiger Analyseschritt zu klären, wie die beobachteten Auffälligkeiten konkret von der Implementierung des Hindernisvermeidungsverhaltens in Unity® bedingt werden.

Literatur

[CS11] Cui, X.; Shi, H.: A*-based Pathfinding in Modern Computer Games. International Journal of Computer Science and Network Security 11/1, S. 125–130, 2011.

[Gr09] Gregory, J.: Game Engine Architecture. CRC Press, 2009.

[HNR68] Hart, P. E.; Nilsson, N. J.; Raphael, B.: A Formal Basis for the Heuristic Determination of Minimum Cost Paths. IEEE Transactions on Systems Science and Cybernetics 4/2, S. 100–107, Juli 1968.

[NavMesh17] Unity Technologies, 2017, URL: `https://docs.unity3d.com/Manual/nav-BuildingNavMesh.html`, Stand: 07. 06. 2017.

[NavMeshAgent17] Unity Technologies, 2017, URL: `https://docs.unity3d.com/Manual/class-NavMeshAgent.html`, Stand: 07. 06. 2017.

[Sc05] Schmidt, H.: Temperamentenlehre (Neuzeit). In: Enzyklopädie Medizingeschichte. De Gruyter, Berlin/ New York, 1382 f. 2005.

[Sc82] Schmidt, G.: Grundlagen der organisatorischen Gestaltung. C.E. Poeschel Verlag, Stuttgart, 1982.

[Unity17] Unity Technologies, 2017, URL: `https://docs.unity3d.com/Manual/`, Stand: 07. 06. 2017.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 1677

Applying classic game production principles to game productions with short development times

Tobias Bruch[1], Sophie De Smet, Justin Zwack, Alexander Marbach

Abstract: During the winter semester 2016 62 students of Media Informatics and Interactive Entertainment at the University of Applied Sciences Mittweida collaborated on developing a 3D Puzzle Platformer. Within a very limited timeframe of four months and with many people to manage the team could produce a title that successfully went through the Greenlight process of Steam. This paper discusses how classic game production principles can be successfully scaled down to fit a game production with relatively short production times by analysing the production of *Koa Bunga*.

Keywords: game development, short production times, project management

1. Introduction

A commonly used model to show the constraints each project must face is the Project management triangle. It is a triangle with cost, scope and schedule as its sides and visualizes the connection between the three factors and the resulting customer satisfaction. [NG03]

This connection is also applicable to game development as those three factors must be managed and balanced by the team to deliver a satisfying product. The factors cannot be freely adjusted as a project should arrive in time, in budget and with a certain scope.

In the case of the development of *Koa Bunga* the time factor was set. *Koa Bunga* was developed during one semester by 62 students of Media Informatics and Interactive Entertainment, which meant that the production had to be finished in four months. On the other hand, the cost factor could be comparatively high as an unusually high number of people were working on the project.

Due to the unusual nature of the project the team was faced with some unique challenges. To achieve the scope and quality the team was aiming for the project's cost factor had to be carefully and creatively managed. The following text will attempt to showcase some of the methods and tricks used to successfully finish the development of *Koa Bunga*.

[1] Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, 09648 Mittweida, tbruch1@hs-mittweida.de

doi:10.18420/in2017_168

2. Classic Game-Production

This section shows how production phases and clear distribution of roles and responsibilities are used in a classic game-production. These principles are powerful tools used in *Koa Bunga*'s production to successfully manage the project.

2.1 Production phases

A game's production can be separated into three distinct phases: preproduction, production and postproduction.

Preproduction stands at the beginning of a game's lifecycle and is required to produce a solid production plan. Tasks during preproduction include defining and fleshing out a concept which is then written down in a so-called Game Design Document. The Game Design Documents details everything about the game like story, mechanics and User Interfaces and serves as the basis for the production plan [Ry99]. Also in preproduction, the game's concept is analysed to determine the projects risks and its budget. [Ch13]

A well-executed preproduction phase is critical for the success of the next step, the actual production phase, as the production plan which is created during Pre-Production should detail all the work necessary to finish the game. In practice, this plan is of course subject to change should the need arise during production. [Ch13]

Often the preproduction phase and the production phase cannot be clearly divided as some features might still be in preproduction while others can already be worked on [Ch13]. This is also reflected by the changing nature of the Game Design Document [Ry99].

During the production phase, the assets and code for the game are created, which is why the size of the involved team typically increases a lot during this phase. [Ed06]

For the production phase, it is common to work with milestone goals, agreed upon requirements the game must fulfil during certain times in production. These goals are used to track the project's progress and can include anything from certain features being implemented to broader goals like having a first playable version of the game. [Ch13]

Common major milestones are for example:

- Alpha: When reaching alpha, the game is generally considered feature-complete [Be03], which means that the game includes all major features. However, those features do not need to be final, yet as there might still arise the need for major adjustments during the rest of production [Ch13].
- Beta: Beta is the milestone at which the game's assets are finished and all major bugs are taken care of [BN09]. The main tasks of the team after reaching beta are to polish the game [BN09] and fix the last bugs [Ch13].

- Gold master: The gold master milestone marks the end of the production phase as at this point the game is considered ready for launch [BN09]. The Gold Master version should be polished and bug free, which in practice is seldom the case as some very specific bugs that could not be tested for might arise only when the masses of players get their hands on the game.

After the game's official release there is still work left to do. To get the most out of the production as a learning experience the team should conduct a post-mortem analysis. This helps the team to review and reflect the development of the game which will most likely result in gaining and retaining valuable knowledge for the next project. [Ch13]

2.2 Roles

Game development is a very interdisciplinary field consisting of the three broad disciplines: Design, Art and Engineering, which can be further divided into several sub-disciplines like Level Design, UI Design, 3D Art, 2D Art, Gameplay Programming, Engine and so on.

When developing a large project with multiple departments it is necessary to clearly assign responsibilities to specific roles.

The general leading roles in classic game production include (cmp. to [Ch13]):

- Producer: The producer's job is to ensure the game is delivered on time, in budget and with the necessary quality. To achieve this the producer concentrates mostly on improving the development process itself rather than the actual content and features by communicating and tracking the production plan.
- Art Director: The Art Director must keep the game's artistic assets consistent and related to one another.
- Creative Director: The Creative Director is responsible for communicating the creative vision of the game to the whole team.
- Technical Director: The Technical Director define the technical foundation of the project by for example setting coding standards or deciding which technologies are used.
- Art/Design/Engineering Lead: A Lead manages the task distribution for her/his team and ensures the quality of the work.

3. Production of *Koa Bunga*

The following section shows how the previously discussed production principles where applied to *Koa Bunga*'s production while also laying out the production process based on major milestones. Problems that arose in the process are discussed as their solutions can be generalized to fit similar problems in other projects.

3.1 Development process

The biggest difference between the production of *Koa Bunga* and a classic game production is the production time. *Koa Bunga* was developed as a part of the module Gamedesign III which is scheduled to be finished in a single semester. The semester during which *Koa Bunga* was developed went from 4th October 2016 to 30th January 2017.

On first sight, this short development time can be compared to the development times of mobile games or independent games with small teams. *Koa Bunga* however is a special project in the sense that while it was developed in a very brief time, the team size of 62 people is relatively high which makes *Koa Bunga* more comparable to classic console and PC productions. Scaling down common times to reach milestones in a two-year development cycle [Ch13] to *Koa Bunga*'s four-month development cycle, shows that the game should be in Pre-Alpha for two and a half months, in Alpha for one month and in Beta for three weeks (see fig. 1).

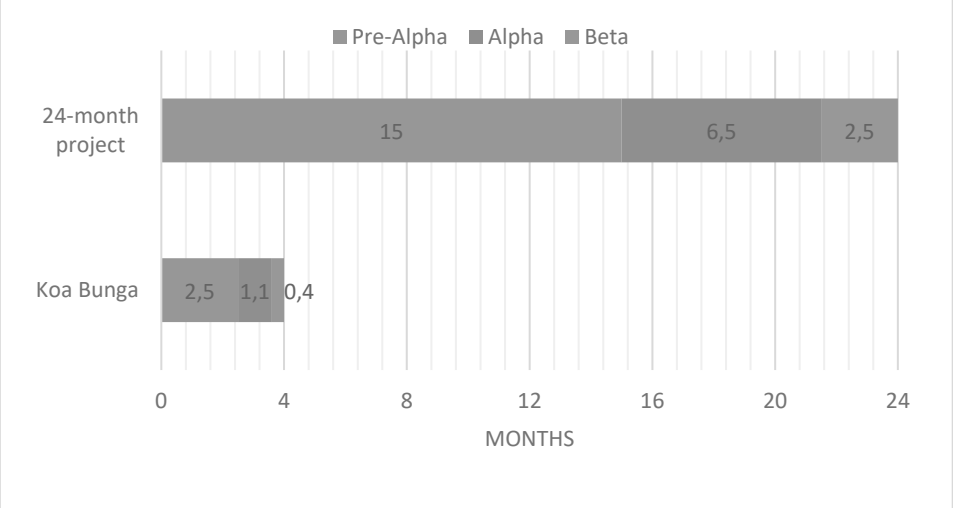


Fig. 1: Production milestones and their targeted date of completion

This lead to a very tight project schedule where *Koa Bunga* had to reach alpha state before the winter break. The producer emphasised the importance of this non-negotiable deadline throughout the development. Doing so helped the team in focusing the project and cutting unnecessary content and features where it was needed which was done in close cooperation with the teams affected by the changes.

After reaching alpha in time some levels where completely playable although it would take a lot more work to finish them from a visual standpoint. When the additional workload to finish the levels became apparent the level count was severely cut to focus on quality instead of quantity. Also, the task of building the levels was distributed between the Game

Design team and the Engine team instead of being solely done by the Engine team to speed up the process. Additionally, the Programming team took over other tasks from the Engine team to free up the time required to build the levels.

All these measures helped to achieve beta state, although the milestone had to be moved back for the team to be able to finish it. Besides the levels not being completely done one major aspect that pushed back the beta milestone was the asset for the main character. The reason for this was that the characters design went through several stages that could not be parallelised. First concept art for the character had to be created, then a model had to be created from the concept art which could then be animated. After that the finished character had to be imported into the actual game. Each step in this process took longer than expected so the character was in the game only two weeks before release.

Such a major asset can really change the feel of the game so having the character in the game this late could have jeopardized the project. However, when it became apparent during production that the deadline for the character could not be achieved in time a placeholder asset with animations was created to represent the main character. This enabled the designers to test the movement feel without having the actual character.

With only two weeks left before release no more major content was added to the game instead the team focused on polishing the existing features and content.

3.2 Team management

The development team of *Koa Bunga* consisted of 62 people working across nine different departments which included one Project Management department, one Event Management department, two Engineering departments, four Art departments and one design department.

For each department, there was at least one lead who managed the task distribution in her/his department. Above that were the directors who helped to keep the work consistent across the different departments. Even above that was the producer who while also working with each lead had the ultimate say in what had to be cut and done to finish the project.

On reviewing the development of *OnBeat – Rhythm of Rage*, the game that was developed in the Gamedesign III module one year prior to *Koa Bunga* a major flaw in this vertical hierarchy that was found was bad communication between departments.

While the hierarchy helped to ensure that responsibilities were very clearly divided and that each team member knew who to answer to it also held the danger that all communication would go through those people higher up in the hierarchy.

To avoid this and the ensuing bottlenecking of communication, horizontal communication across departments was an important goal for the team. One major solution to achieve this was to have several key team members work for multiple departments. This helped to

avoid certain departments working isolated on their side of the project without considering the viewpoints from the other departments.

The producer of *Koa Bunga* also emphasized the importance of working in the same space early on which helped to encourage the team to work together in the computer pools provided by university during fixed working hours once a week. During development, this severely cut communication times as when someone needed something or had a question the response time was instant.

4. Conclusion

The classic game production principles discussed in this paper provide the framework for the communication in *Koa Bunga*'s production. By having clear and transparent milestones the development progress in one department becomes trackable by management and visible to the other departments. Team members can then see where their work fits into the whole production and can make independent yet still informed decisions about their work.

The clear hierarchy provided by splitting the team up in several departments allows the whole team to easily distinguish responsibilities, so everybody knows who to talk to when they have a specific question.

In the end, the most crucial challenge in managing a lot of people is facilitating effective communication. This is especially true for projects with many people working on them as with each new member the need for communication rises exponentially if everybody should be talking with each other.

The most important aspects of *Koa Bunga*'s development that help with effective communication include:

- Focusing on problem solving across different departments instead of blaming others for not reaching their milestones.
- Working with prototypes and placeholders to communicate ideas early on.
- Working in a shared space.
- Clearly communicating the necessity of certain milestones.
- Being honest about content that needs to be cut.
- Seeking help when it is needed.

Acknowledgments: As representatives of the whole team, we would like to thank Jannis Dittmer, Robert Einsiedel, Tom Künzer, Alina Molsner, Florian Nich, Angelina Schiffmann, Saskia Scholz and Robert Zimmermann for their work as department leads on the production of Koa Bunga.

Bibliography

[Be03] Bethke, E: Game Development and Production. Wordware Publishing, Inc., 2003.

[BN09] Levy, L; Novak, J: Game Development Essentials: Game QA & Testing. Cengage Learning US, 2009.

[Ch13] Chandler, H: The Game Production Handbook. 3rd ed, Infinity Science Press, Hingham, Mass., 2011.

[Ed06] Edwards, R; THE GAME PRODUCTION PIPELINE: CONCEPT TO COMPLETION. www.ign.com/articles/2006/03/16/the-game-production-pipeline-concept-to-completion, Access date: 05.05.2017.

[NG03] Newell, M; Grashina, M.: The Project Management Question and Answer Book. AMACOM/American Management Association, 2003.

[Ry99] Ryan, T; The Anatomy of a Design Document, Part 1: Documentation Guidelines for the Game Concept and Proposal. www.gamasutra.com/view/feature/3384/the_anatomy_of_a_design_document_.php, Access date: 04.05.2017.

Hochschule 2027

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 1687

Hochschule 2027

Raphael Zender[1], Ulrike Lucke, Markus von der Heyde[2] und Wolfgang Meyer

Die Digitalisierung stellt moderne Bildungseinrichtungen in ihrer Entwicklung beständig vor technische und organisatorische Herausforderungen: leistungsfähige und allgegenwärtige IT-Dienste, Mikro- und Makromobilität von Studierenden, Mitarbeitern und Gästen, flexible Gestaltung und Organisation von kooperativen und individuellen Lern- und Arbeitsprozessen – und das bei oft engen Ressourcen und regulativen Rahmenbedingungen. Wenn auch viele Probleme eine starke technische Komponente haben, sind sie doch nur selten durch Technik allein zu lösen. Vielmehr stehen IT-Entscheider regelmäßig vor der Aufgabe, sich im Gesamtfüge der Hochschule zu positionieren und dieses aktiv mitzugestalten. Der Workshop thematisiert diese Herausforderungen und stellt sie zur Diskussion. Aus den eingereichten Beiträgen wurden durch ein Peer-Review sechs Beiträge zur Publikation im Tagungsband ausgewählt. Das Spektrum umfasst auch in diesem Jahr sowohl konkrete IT-Systeme und deren Einsatz als auch eher strategische Perspektiven des IT-Managements, sind zum Teil praktischer und zum Teil empirischer Natur. Wir danken den GI-Fachgruppen Appliances, Personal and Smart Devices (APS) und E-Learning (ELE) für die Unterstützung des Workshops. Für die sorgfältige und engagierte Organisation des Workshops danken wir ganz herzlich Raphael Zender. Zudem gebührt den Mitgliedern des Programmkomitees für die Begutachtung der eingereichten Beiträge unser Dank:

[1] Universität Potsdam, zender@uni-potsdam.de
[2] vdH-IT, Hansastraße 8, 59425 Unna, info@vdh-it.de

doi:10.18420/in2017_169

Gunnar Auth (HFT Leipzig)
Arndt Bode (LRZ München)
Michael Brinkwerth (TU Clausthal)
Christian Erfurth (FH Jena)
Stefan Fischer (Uni Lübeck)
Marc Göcks (Multimedia Kontor)
Christoph Igel (DFKI)
Odej Kao (TU Berlin)
May-Britt Kallenrode (Uni Osnabrück)
Udo Kebschull (Uni Frankfurt)
Frank Klapper (Uni Bielefeld)
Andreas Knaden (Uni Osnabrück)
Michael Koch (UniBW München)
Bernd Krämer (FU Hagen)
Sören Lorenz (Uni Kiel)
Gudrun Oevel (Uni Paderborn)
Hans Pongratz (TU München)
Christa Radloff (Uni Rostock)
Simone Rehm (Uni Stuttgart)
Sabine Roller (Uni Siegen)
Peter Schirmbacher (HU Berlin)
Ulrik Schroeder (RWTH Aachen)
Ramin Yahyapour (GWDG)
Markus Zahn (Uni Augsburg)

Chemnitz, im September 2017
Ulrike Lucke, Markus von der Heyde, Wolfgang Meyer
Program Co-Chairs

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 1689

Herausforderungen für den Support bei der Einführung eines neuen Campus-Management-Systems am Fallbeispiel RWTHonline

Markus Baum[1], Ingo Hengstebeck[2] und Sarah Grzemski[3]

Abstract: Dieser Artikel skizziert die durch den Bologna-Prozess entstehenden universitären Herausforderungen und stellt die Einführung des neuen Campus-Management-Systems an der RWTH Aachen University als einen notwendigen Schritt im Umgang mit diesen Herausforderungen dar. Mit besonderem Blick auf die IT Center-spezifischen und die RWTH-weiten Supportstrukturen werden verschiedene Szenarien der Einführung und deren Auswirkung auf den Support vorgestellt und beurteilt. Den Abschluss bildet ein Ausblick auf die langfristigen Ziele einer hohen Servicequalität.

Keywords: Bologna, Campus Management, RWTHonline, Support, ServiceDesk

1 Einleitung

Der Bologna-Prozess stellt Universitäten vor eine Vielzahl von Herausforderungen, die die Konzeption von Studiengängen ebenso betrifft wie die grundlegende Organisation von Hochschulen. Mit diesen Herausforderungen sieht sich auch die RWTH Aachen University konfrontiert. Neben einer Reorganisation hochschulweiter Prozesse, hat sich die RWTH Aachen University daher die Einführung eines integrierten Campus-Management-Systems zum Ziel gesetzt [Rw17a]. Dieses System soll es ermöglichen, den durch den Bologna-Prozess gestellten Anforderungen gerecht zu werden. Die bisher für das Campus-Management eingesetzten Systeme unterstützen den modularen Aufbau der Bachlor- und Masterstudiengänge nicht optimal. Für das IT-ServiceDesk des IT Centers der RWTH Aachen University bedeutet die Einführung eines neuen Systems, eine Veränderung der bisherigen Supportprozesse und -strukturen. Um auf diese Veränderungen angemessen reagieren zu können, müssen neue Supportprozesse und -konzepte entwickelt, evaluiert, getestet und implementiert werden.

Im Folgenden wird das Projekt „Reorganisation der Prozesse rund um das Prüfungsleistungs- und Lehrveranstaltungsmanagement einschließlich der Einführung einer integrierten Softwarelösung“, kurz PuL, als umfassende organisationale und informationstechnologische Antwort der RWTH Aachen University auf die Herausforderungen von „Bologna“ dargestellt [Rw17a]. Anschließend wird das

[1] RWTH Aachen University, IT Center, Seffenter Weg 23, 52074 Aachen, baum@itc.rwth-aachen.de
[2] RWTH Aachen University, IT Center, Seffenter Weg 23, 52074 Aachen, hengstebeck@itc.rwth-aachen.de
[3] RWTH Aachen University, IT Center, Seffenter Weg 23, 52074 Aachen, grzemski@itc.rwth-aachen.de

doi:10.18420/in2017_170

Augenmerk auf die Anforderungen gelegt, die aus der Einführung eines integrierten Campus-Management-Systems für den Support entstehen. Daraufhin werden Lösungsansätze für diese Anforderungen diskutiert. Den Abschluss bildet ein Ausblick.

2 Der Bologna-Prozess, die RWTH Aachen University und das PuL-Projekt

2.1 Universitäre Auswirkungen des Bologna-Prozesses

Die Auswirkungen der Erklärung von „Bologna“ [Km16] können kaum überschätzt werden. Die Universitäten sehen sich in Anbetracht der formulierten Ziele der Notwendigkeit ausgesetzt, grundlegende und langfristige Reformprozesse einzuleiten [Si11]. Diese Reformierung und Neu-Strukturierung der studienrelevanten Strukturen bringt für die RWTH Aachen University eine enorme Komplexitätssteigerung in den Bereichen Studium und Lehre mit sich [Rw17a]. Etliche Prüfungsordnungen und Modulbeschreibungen müssen neu erstellt werden. Hinzu tritt der enorme Anstieg der Studierendenzahlen aufgrund der doppelten Abiturjahrgänge im Jahre 2013 [Ja13]. Zudem erhöhen die lokal besonders ausgeprägte Interdisziplinarität des Lehrangebots und die starke Verflechtung der Forschung mit wirtschaftlichen Interessen den organisatorischen Aufwand. Mit der Meisterung dieser Hürden befasst sich das 2011 gestartete hochschulweite PuL-Projekt, dessen Abschluss für Ende 2018 geplant ist. Im Rahmen dieses Projektes wird neben der Reorganisation der studiengangsbezogenen Prozesse ebenfalls ein neues Campus-Management-System eingeführt. Diese doppelten Neuerungen führen dazu, ebenfalls die Supportprozesse und -strukturen entsprechend anzupassen. Zugleich bietet sich dadurch die Möglichkeit, jene Strukturen und Prozesse kundenfreundlicher als bisher zu gestalten.

2.2 Das PuL-Projekt: Struktur und Ziele

Das PuL-Projekt wurde vom Rektorat der RWTH Aachen University in Auftrag gegeben [Rw17a]. An dem Projekt sind über 100 Personen der RWTH Aachen University beteiligt. Diese Personen gehören unterschiedlichen Hochschuleinrichtungen an. Fakultäten, Verwaltungseinheiten, Vertreter der Studierendenschaft sowie das IT Center arbeiten eng zusammen, um die Reorganisation der Prozesse sowie die Softwareeinführung zu gestalten. Das Projekt ist untergliedert in eine Lenkungsebene, die Ebene der Projektleitung und die Ebene der Teil- und Koordinationsprojekte (siehe Abb. 1). Die sieben Teilprojekte sind verantwortlich für die technischen und fachlichen Fragestellungen. Die Koordinationsprojekte übernehmen unter anderem die Qualitätssicherung, die Konzeption von Dokumentation und Schulungen, das Berichtswesen und die Datenmigration.

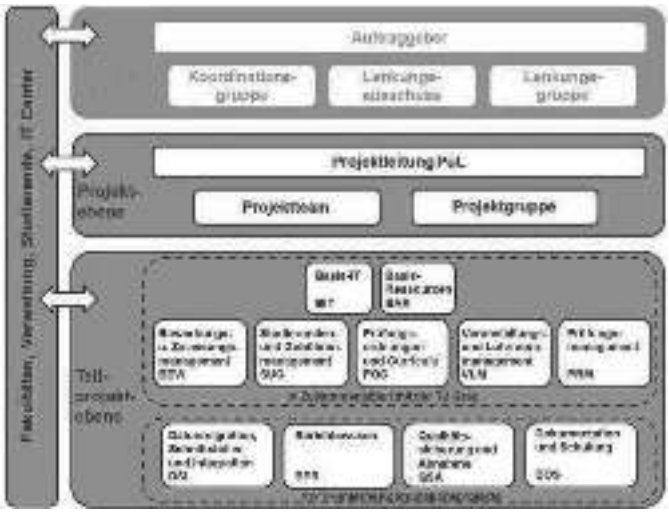


Abb. 1: PuL-Projekt-Struktur [Rw17a]

Im Hinblick auf den Student-Life-Cycle befasst sich das Projekt mit den Themen Prüfungsleistungs- und Lehrveranstaltungsmanagement, Bewerbung und Zulassung sowie Studierenden- und Gebührenmanagement. Entsprechende Prozesse werden im Rahmen ihrer Reorganisation transparenter und optimiert [Rw17b]. Auf der Grundlage der neu gestalteten Prozesse wird bis zum Wintersemester 2018 schrittweise ein neues integriertes Campus-Management-System eingeführt. Die Vorbereitungen dazu laufen seit Anfang 2015. Dieses von der TU Graz erworbene System trägt den Namen RWTHonline und unterstützt diese Prozesse. Hier stellt die Einführung von RWTHonline zudem eine Reaktion auf eine lokale Besonderheit dar. Bisher wird an der RWTH Aachen University im Rahmen des Student-Life-Cycles mit heterogenen IT-Systemen gearbeitet. Während die Organisation von Veranstaltungen im Campus-System der CAS AG bewältigt wird, wird das Prüfungs- und Studierendenmanagement über Systeme der HIS eG abgewickelt. Die bisher eingesetzten Systeme zur Organisation von Studium und Lehre sind an ihre technischen Grenzen gestoßen. RWTHonline vereinheitlicht diese heterogenen Systeme und erübrigt auf Dauer die Bereitstellung von Brücken für komplexe Verfahren der Datenmigration im Student-Life-Cycle [Rw17d]. Zur sicheren und risikoarmen Einführung wird im Wintersemester 2017/18 und Sommersemester 2018 das neue System im Pilotbetrieb getestet. Am Piloten nehmen die Studiengänge Bachelor of Science Chemie und Master of Arts Politikwissenschaft teil [Rw17e].

3 Herausforderungen bei der Einführung des Campus-Management-Systems RWTHonline im Hinblick auf Support

Die Einführung des neuen Campus-Management-Systems stellt die daran beteiligten Abteilungen des IT Centers, die eingebundenen Einrichtungen der Zentralen Hochschulverwaltung (ZHV) sowie Fakultäten und Fachgruppen vor die Herausforderung, den kompletten Support (sowohl technischer als auch inhaltlicher Natur) für RWTHonline neu zu strukturieren. Dabei sind sowohl die Supportstruktur innerhalb des IT Centers, als auch die RWTH-weite Supportstruktur zu berücksichtigen. Zu beachten ist an dieser Stelle, dass die im Folgenden skizzierten Szenarien noch in der Diskussion sind und daher noch keine zukünftigen Prozesse, die auf diesen Szenarien aufbauen, detailliert definiert werden. Sicher ist jedoch, dass diese Szenarien auf bereits bestehenden definierte Supportstrukturen und -prozesse aufsatteln werden. Durch die Einrichtung einer zentralen Kontaktadresse bei Supportanfragen, der Definition möglicher Anfragen und der entsprechenden Bearbeitungsgruppen wurden bereits erste Schritte auf dem Weg zu fertigen Prozessdefinitionen unternommen.

3.1 IT Center-interne Supportstruktur

Das Campus-Management-System wird vom IT Center betreut und betrieben. Innerhalb des IT Centers sind dabei die folgenden Abteilungen involviert: IT-ServiceDesk (IT-SD), IT-Prozessunterstützung (PIT) sowie Systeme und Betrieb (SuB).

Das IT-SD erfasst, bearbeitet und leitet gegebenenfalls Supportanfragen zu allen IT-Diensten des IT Centers an die entsprechenden Fachabteilungen weiter, sofern eine Beantwortung nicht im 1st-Level-Support erfolgen kann. Das IT-SD wurde im Jahr 2010 im Rahmen der Einführung von IT-Service-Management am IT Center etabliert und dient als Single Point Of Contact für alle Anfragenden [Bgh11]. Um einen qualitätsgesicherten Support zu garantieren, betreibt das IT-SD ein Qualitätsmanagementsystem nach DIN EN ISO 9001:2015, welches im Jahr 2016 entsprechend zertifiziert sowie im Jahr 2017 mit Hilfe eines Überprüfungsaudits aufrechterhalten wurde [Phg17]. Für die Bearbeitung von Anfragen rund um das aktuelle Campus-Management-System gibt es definierte Prozesse, die in enger Abstimmung mit der Gruppe Prozess- und Anwendungsberatung der Abteilung PIT stetig weiterentwickelt werden.

Die Abteilung PIT ist u.a. für Beratung und Schulung bezüglich des Campus-Management-Systems zuständig. Neben den Beratungs- und Schulungsaufgaben übernimmt die Abteilung PIT die folgenden Tätigkeiten:

- IT-Prozessentwicklung, Prozessgestaltung, Anforderungsanalyse, Einführung, Integration und Weiterentwicklung effizienter und nachhaltiger IT-Lösungen
- Prozessunterstützung von Campusmanagement (CMS), E-Learning und die RWTHApp

- Management und die Weiterentwicklung von zentralen Anwendungen für die bedeutenden Geschäftsprozesse der RWTH Aachen gemeinsam mit den Kooperationspartnern in der Zentralen Hochschulverwaltung (ZHV) und den Fakultäten

Im Rahmen der Einführung von RWTHonline ist PIT verantwortlich für die Integration bestehender Daten in das neue System sowie die Bereitstellung bzw. Entwicklung von Schnittstellen zu Nachbarsystemen. Beispielsweise müssen Raumdaten von der Software zur Raumbuchung über eine Schnittstelle zu RWTHonline migriert werden. Ebenfalls stellt PIT Schnittstellen zu Datenbanken bereit, in denen die Personendaten von Studierenden und Bediensteten hinterlegt sind. Neben dieser technischen Komponente übernimmt PIT auch wieder die Beratung, die Durchführung von Schulungen und die Dokumentation bezüglich RWTHonline in Kooperation mit dem Dezernat 1 der ZHV.

Die Abteilung Systeme und Betrieb (SuB) ist für den Regelbetrieb von Hard- und Software-Systemen verantwortlich und bietet u. a. die folgenden Dienste an:

- Backup und Archiv
- Email und Groupware
- Identity Management

Des Weiteren betreibt SuB das Campus-Management-System und die darunterliegende Serverinfrastruktur und Basissoftware.

Aufgrund der integrativen Aufgaben, Betreuung und Betriebsstruktur von RWTHonline ergeben sich für den Support unterschiedliche Herausforderungen, die im Rahmen der Einführung des Systems evaluiert werden. Zum einen muss geklärt werden, wie die IT Center-interne Supportstruktur aufgebaut wird. Kurz gesagt: Wer redet wann mit wem? Bei eingehenden Supportanfragen von Nutzenden, wird diese Anfrage zunächst anhand der gültigen auf ITIL aufbauenden Prozesse im IT-SD bearbeitet. Wenn eine Lösung jedoch nicht durch das IT-SD erfolgen kann, muss die Anfrage entweder an die Abteilung SuB oder an die Abteilung PIT weitergeleitet werden. Nach der Bearbeitung der Anfrage durch eine der beiden Abteilungen, wird in der Regel eine Antwort an den Nutzenden durch das IT-SD kommuniziert. Dies ist wichtig, um die Mitarbeitenden der Abteilungen zu entlasten und um Awareness bei den Anfragenden für die Support-Prozesse zu schaffen. Es soll vermieden werden, dass die Mitarbeitenden der Fachabteilungen des IT Centers direkt durch die Anfragenden kontaktiert werden.

Gerade bei der Einführung von RWTHonline ist damit zu rechnen, dass Anfragen von den 2nd-Level-Einheiten (SuB oder PIT) des IT Centers an den Hersteller der Campus-Management-Software (TU Graz) weitergeleitet werden müssen. Zum Umgang mit diesen Anfragen sind die folgenden Szenarien möglich:

1. Szenario: Die Mitarbeitenden der Abteilungen PIT und SuB wenden sich direkt an den Support des Herstellers der Software. Antworten des Herstellers werden dann wieder direkt an den/die Anfragestellende aus der entsprechenden Abteilung

kommuniziert. Positiv hervorzuheben ist an diesem Szenario, dass die Kommunikation sehr schnell stattfindet und Probleme ebenso schnell gelöst werden können. Nachteilig ist, dass die Antworten mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht dokumentiert werden, weil die Anfragenden oftmals primär im operativen Geschäft tätig sind. Antworten werden also schnell umgesetzt. Jedoch ist die Umsetzung an keinen Dokumentationsprozess gekoppelt. Auf lange Sicht führt das Fehlen der Dokumentation nicht zur schnelleren, sondern zu einer langsameren Problemlösung, da dasselbe Problem wiederholt an den Hersteller kommuniziert, statt direkt mittels einer Dokumentation gelöst wird.

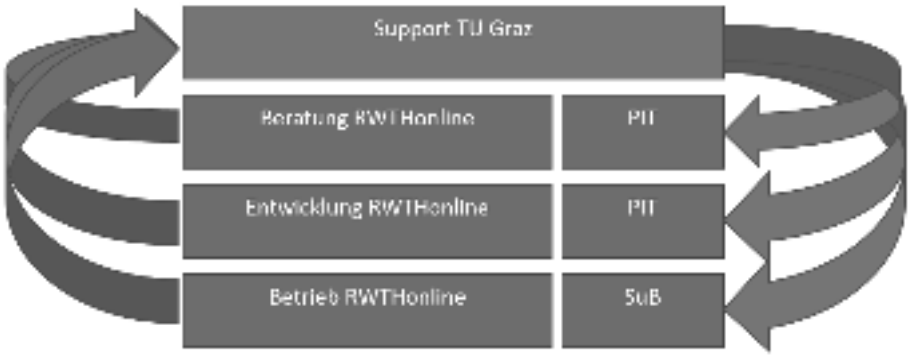


Abb. 2: interne Struktur Szenario 1

2. Szenario: Innerhalb des IT Centers wird ein Team mit Mitgliedern aus allen drei Abteilungen gebildet. Supportanfragen an den Hersteller werden von diesem Team an den Hersteller weitergeleitet. Erfolgt eine Antwort durch den Hersteller, kommuniziert das Team die Antwort an die entsprechende Abteilung des IT Centers. Der Vorteil bei diesem Szenario ist, das Wissen bezüglich der aufkommenden Supportanfragen gleichzeitig in allen drei Abteilungen aufgebaut wird. Auch dieses Szenario birgt Nachteile. Die Etablierung eines solchen Teams erzeugt zunächst einen erhöhten Arbeitsaufwand. Es muss zudem festgelegt werden, in welcher Abteilung das Team angesiedelt wird und welche Mitarbeitenden für das Team teilweise freigestellt werden. Die eingeführte Zwischeninstanz bedingt ebenfalls zeitliche Verzögerungen bei der Kommunikation der Antwort.



Abb. 3: interne Struktur Szenario 2

Für beide Szenarien muss darüber hinaus diskutiert werden, ob diese nicht ausgeweitet werden können auf die Einrichtungen der ZHV, welche ebenfalls den Support der TU Graz in Anspruch nehmen könnten.

Welches der beiden aufgeführten Szenarien letztendlich umgesetzt wird, ist noch nicht abschließend entschieden. Derzeit finden Abstimmungsgespräche bezüglich der Festlegung eines Szenarios statt. Möglicherweise wird es gar eine Mischform aus den beiden Szenarien geben, in der es zwar ein Kommunikationsteam gibt, jedoch einige vorher bestimmte Akteure direkt mit der TU Graz kommunizieren können. Zur Vermeidung von Parallelstrukturen eignet sich jedoch das zweite Szenario, da nur darin die Dopplung von Anfragen und Supporttätigkeiten durch deren Zentralisierung vermieden werden kann.

Neben den Abteilungen des IT Centers sind auch weitere Einrichtungen der ZHV, wie z.B. das Zentrale Prüfungsamt (ZPA) und das Studierendensekretariat an der Bearbeitung von Supportanfragen bezüglich des Campus-Management-Systems beteiligt. Daraus resultiert die Notwendigkeit, die bestehenden RWTH-weiten Supportstrukturen einer Überprüfung zu unterziehen.

3.2 RWTH-weite Supportstruktur

Das IT-ServiceDesk ist zwar der Single Point Of Contact für den IT-Support, jedoch übernimmt es bzw. das IT Center keinen umfassenden inhaltlichen und technischen Support für das bestehende Campus-Management-System bzw. für RWTHonline. D.h., neben dem IT Center gibt es noch weitere Einrichtungen der ZHV, die ebenfalls

Supportanfragen bearbeiten, z.B. das Studierendensekretariat oder das Zentrale Prüfungsamt. Eine vereinfachte Darstellung der derzeitigen Situation zeigt die Abb. 4.

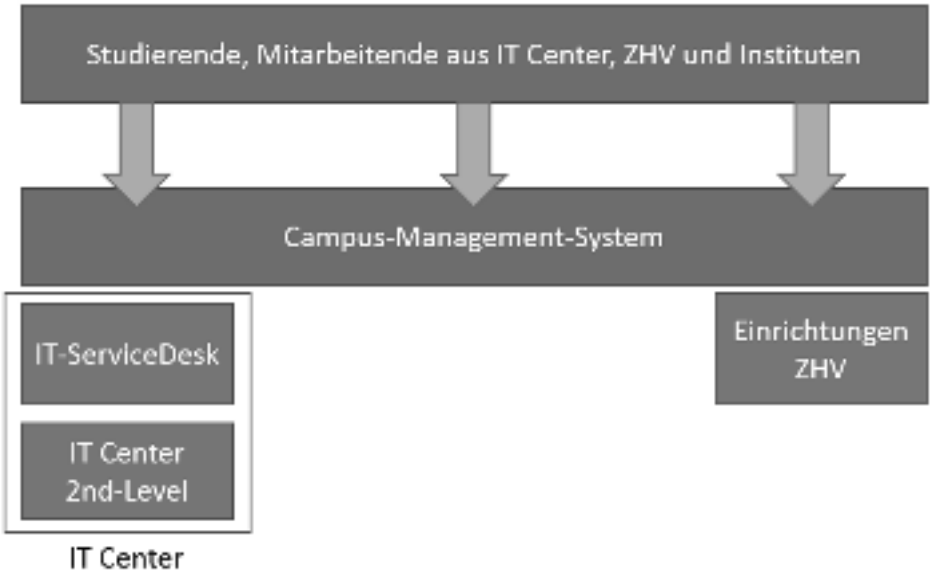


Abb. 4: Aktuelle Supportstruktur

Diese Struktur hat zur Folge, dass vor allem Anfragen von Studierenden oft fälschlicherweise an das IT-ServiceDesk gestellt werden. Diese Anfragenden werden dann darüber informiert, dass sie sich mit ihrer Anfrage an eine andere Einrichtung wenden müssen. Diese Support-Struktur hat sich als sehr umständlich und Anwender/innen-unfreundlich erwiesen. Auch bei der Kommunikation zwischen den Einrichtungen der ZHV und den 2nd-Leveleinheiten des IT Centers existiert hier kein definierter Prozess. Oft kontaktieren die Einrichtungen der ZHV den 2nd-Level direkt oder über das IT-SD. Durch das Fehlen eines klar definierten Prozesses, werden Anfragen der ZHV an das IT Center nicht durchgängig dokumentiert.

Des Weiteren ist diese Struktur der Lösung problematisch, weil aufgrund des Medienbruchs (im Falle der Verweisung der Anfrage an eine andere Einrichtung) keine vollständige Historie des Lösungsprozesses vorliegt. Dies erschwert die Nachvollziehbarkeit des Problems sowie die Dokumentation der Lösung.

Zur Unterstützung der langfristigen Strategie des IT Centers setzt sich das IT-SD bereits intensiv mit den möglichen Supportstrukturen für kooperativ erbrachte IT-Dienste auseinander. Diese Auseinandersetzung ist auch für die zukünftigen Supportstrukturen hinsichtlich des neuen Campus-Management-Systems wichtig, um eine hohe Servicequalität im Support zu erreichen [Gh17].

1. Szenario: Ein erstes Szenario, welches dieses Ziel unterstützt, ist, dass das IT-SD zum Single Point Of Contact für alle Anfragen bezüglich RWTHonline wird. Im Detail bedeutet dies, dass auf den bestehenden Supportstrukturen des IT-ServiceDesk aufgebaut wird. Alle Anfragen werden dann zentral im IT-SD eingehen, dort klassifiziert und kategorisiert und gegebenenfalls an die für die Bearbeitung zuständige Einrichtung bzw. Fachabteilung weitergeben. Dieses Konzept wird bereits jetzt schon erfolgreich mit anderen Einrichtungen der RWTH Aachen University eingesetzt und hat den Vorteil, dass der Anfrager nicht überlegen muss, an wen er sich wenden muss. Zudem bleibt die Problemhistorie (aufgrund des konstanten Mediums) für alle Beteiligten nachvollziehbar. Durch die Einrichtung der zentralen Support-E-Mail-Adresse rwthonline@rwth-aachen.de wurde bereits eine wesentliche Voraussetzung a) für die zentralisierte Bearbeitung aller RWTH-online-spezifischen Anfragen und b) für den Abbau von Parallelstrukturen zwischen IT-SD, ZHV und IT Center 2nd Level geschaffen. Zudem sind bereits jetzt Supportanfragen, die über diese E-Mail gestellt werden, definiert in: a) Anfragen zum Account, b) Anfragen zu Berechtigungen, c) Anfragen zum Klonen von Systemen, d) Anfragen zu technischen Problemen. Entsprechend dieser Kategorisierung können Anfragen an zwei Bearbeiter/innen-Gruppen zugeteilt werden: RWTHonline Support (PIT) oder RWTHonline Betrieb (SuB).

   Insbesondere im Falle der Einführung von RWTHonline bietet sich auf diesem Wege für das IT-SD die Möglichkeit, konsequent und umfassend ein Wissen über die verschiedenen, wiederholt auftretenden Problemfälle und deren Lösung aufzubauen und oftmals wiederkehrende Anfragen direkt zu beantworten.

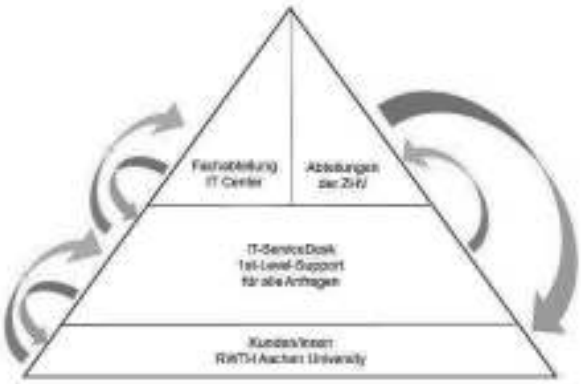


Abb. 5: Die Support-Pyramide [Gh17]

Abb. 5 stellt den Kommunikationsfluß bei der Nutzung eines gemeinsamen Tickettools durch alle beteiligten Einrichtungen dar. Die gelben Pfeile stellen den Kommunikationsweg von eingehenden Anfragen dar, die grünen Pfeile den Kommunikationsweg der Antworten.

Anfragen, die nicht direkt durch das IT-SD gelöst werden können, werden entweder an eine Fachabteilung des IT Centers oder direkt an die zuständige Einrichtung weitergeleitet. Bei Anfragen, welche in den Bereich des IT Centers fallen, erfolgt die Kommunikation der Antwort über das IT-ServiceDesk. In diesem Modell ist vorgesehen, dass die Antworten der beteiligten Einrichtungen ohne Umweg über das IT-SD an die Anfragenden kommuniziert werden. Es finden jedoch regelmäßig Austauschtermine zwischen dem IT Center und den beteiligten Einrichtungen statt, um Anfragen zu identifizieren, die direkt durch den 1st-Level des IT Centers beantwortet werden können. Diese Vereinbarungen zwischen dem IT-SD und den Einrichtungen der ZHV werden in Supportvereinbarungen festgehalten. Diese dienen der Dokumentation, wer für welche Anfragen zuständig ist.

Eine Modifikation des in Abb. 4 beschriebenen aktuellen Support-Modelles ist, dass die Antworten der Einrichtungen der ZHV über das IT-ServiceDesk kommuniziert werden. Durch diese Modifikation kann das IT-SD schneller Wissen aufbauen und die Dokumentation anpassen.

Die oben beschriebene Vorgehensweise entlastet alle beteiligten Einrichtungen, da definierte Anfragen direkt durch das IT-SD beantwortet werden können. Dadurch erhalten die Anfragenden eine schnellere Antwort. Diese Vorgehensweise wird bereits erfolgreich im Rahmen des Projektes „Forschungsdatenmanagement“ an der RWTH Aachen University umgesetzt [Gh17]. Dies setzt jedoch die Bereitschaft der beteiligten Einrichtungen voraus, mit dem im IT-ServiceDesk eingesetzten Tickettool zu arbeiten. Oftmals gehen einem Nutzen der Einführung neuer Softwaretools, hier Tickettool, erhebliche Kosten voraus. Z.B. müssen die Mitarbeitenden im Umgang mit der Software geschult werden. Probleme treten dabei nicht allein aufgrund mangelnder Fähigkeiten, sondern ebenso aufgrund eines in Gewohnheit gründenden Widerwillens in Form von Akzeptanzproblemen auf [Hä14]. Diese Probleme verlängern den Einführungsprozess neuer Softwaretools oftmals gravierend.

2. Szenario: Ein weiteres Szenario ist, dass das IT Center nur noch den technischen Support für RWTHonline übernimmt. In diesem Fall werden nur definierte Ansprechpartner/innen aus Einrichtungen und Instituten der RWTH Aachen University mit technischen Supportanfragen an das IT Center herantreten. Für alle inhaltlichen Fragen müsste in diesem Fall eine neue zentrale Supportstelle eingerichtet werden. Es stellt sich jedoch die Frage, ob es sinnvoll ist, neben einer bereits etablierten Supportstelle eine weitere vollständig neue Stelle zu konzeptionieren und zu etablieren. Auch hier müssen, wie im bereits oben diskutierten Szenario, personelle Ressourcen bereitgestellt werden.

3. Szenario: Das dritte und letzte diskutierte Szenario ist das Beibehalten der aktuellen Supportstrukturen. Dies hätte jedoch zur Folge, dass keine Verbesserung bezüglich der Supportqualität eintreten wird und die Anfragenden wiederum vor dem Problem stehen an welche Stelle sie sich wenden müssen und für den Support keine umfassende Problemhistorie dokumentiert werden kann (vgl. auch Abb. 4).

Es empfiehlt sich, sich auf das Szenario 1 oder Szenario 2 zu einigen, bzw. eine Mischform aus beiden zu erstellen, da nur so ein Mehrwert für die Anfragenden geschaffen werden kann. Die Durchführung von Szenario 2 ist jedoch nur mit einem sehr hohen konzeptionellen Aufwand möglich, da eine neue Supportstelle komplett neu konzeptioniert und organisiert werden muss. Es stellt sich die Frage, ob dies wirklich notwendig ist, wenn bereits bestehende etablierte Strukturen genutzt werden können. Die Anpassungen der bestehenden Strukturen stellen den geringsten Aufwand dar und bringen den größten Nutzen für die Anfragenden, sodass letztendlich lediglich das erste Szenario als umfassend zielführend gelten kann.

Wie auch für die IT Center-internen Supportstrukturen gilt hier ebenfalls, dass noch keine abschließende Entscheidung getroffen wurde. Die Szenarien werden derzeit innerhalb des PuL-Projekts diskutiert.

3.3 Herausforderungen neuer Supportstrukturen für den 1st-Level-Support

Änderungen an der IT Center-internen und der RWTH-weiten Supportstruktur wirken sich auf die interne Organisation des IT-ServiceDesk aus. Durch die Einführung von RWTHonline kommt es für den 1st-Level-Support so zu zwei großen Herausforderungen:

1. Anpassung der Supportstrukturen
2. Einführung eines neuen Campus-Management-Systems mit einer sehr großen Nutzerzahl. Hier gelten dieselben Herausforderungen, wie bei der Einführung eines neuen IT-Dienstes, wie z.B. Schulung der Mitarbeitenden und die Erstellung von Dokumentationen. Bei der Einführung von RWTHonline sind jedoch die folgenden Aspekte zu berücksichtigen: Doppelbetrieb von zwei Campus-Management-Systemen während der Pilotphase, grundsätzliche Änderungen bei der Nutzung des neuen Systems und die Umstellung der notwendigen Dokumentation.

Grundlegend notwendig ist, alle Änderungen zeitnah und adressatengerecht innerhalb des IT-ServiceDesk zu dokumentieren, zu kommunizieren und in die entsprechenden Schulungen einfließen zu lassen.

Diese Aufgaben stellen eine Mehrbelastung des IT-SD dar. Um dieser gerecht zu werden, sind zwei Mitarbeitende für die IT-SD-interne Kommunikation, Dokumentation und für Schulungen sowie für alle Änderungen, die sich durch die Einführung von RWTHonline ergeben, zuständig. Diese beiden Mitarbeitenden arbeiten sehr eng mit der Abteilung PIT und der PuL-Projektgruppe zusammen, um die Einführung so nah wie möglich zu begleiten. Hervorzuheben ist, dass bei der Besetzung dieser Stellen insbesondere auf pädagogische und organisationale Kompetenzen wert gelegt wurde. Beide Stellen können daher als kommunikative und didaktische Schnittstelle zwischen verschiedenen Nutzenden, Einrichtungen der ZHV und Teilprojekte sowie als integraler Bestandteil der Definition von Supportprozessen fungieren. Bestandteil der Definition von Supportprozessen fungieren.

4 Ausblick

Die Einführung des neuen Campus-Management-Systems gründet in den Anforderungen, die der Bologna-Prozess an die RWTH Aachen University stellt. Die Einführung von RWTHonline stellt eine spezifische Reaktion auf diese Anforderungen dar und bietet zugleich die Chance, die hochschulspezifische Besonderheit der momentanen Nutzung mehrerer Systeme, die mittlerweile zum Problem geworden ist, durch die Einführung des neuen integrierten Systems zu beheben. Jedoch führt diese Einführung spezifische Herausforderungen für den Support und die Dokumentation mit sich. Zur Bewältigung dieser Herausforderungen existieren keine fertigen Lösungskonzepte. Diese werden momentan in enger Zusammenarbeit zwischen allen Beteiligten erstellt. Das IT-SD ist daran wesentlich beteiligt, um die Support-Perspektive in den Prozess einzubringen. Daher nehmen Mitarbeitende des IT-SD an den wichtigen Projekttreffen teil, spielen wichtige Informationen zurück in die eigene Abteilung und arbeiten konstitutiv an der Entwicklung von Support- und Dokumentationskonzepten mit. Dieser Prozess ist nach dem Pilotbetrieb und mit dem Go Live nicht abgeschlossen. Auch danach müssen die entwickelten Konzepte weiterhin evaluiert und gegebenenfalls Neuerungen implementiert werden.

Als langfristiges Ziel bzw. Vision sollte die Servicequalität für die Nutzenden in den Fokus gerückt werden. Dies heißt konkret, dass eine zentrale Stelle für alle Anfragen bezüglich RWTHonline existiert. Diese zentrale Stelle ist nicht nur Anlaufpunkt für die Studierenden und Mitarbeitenden. Auch Anfragen der an RWTHonline involvierten Fachabteilungen des IT Centers und der ZHV an den Hersteller der Software werden über diesen Single Point Of Contact an den Hersteller übermittelt. Dies hat bei allen Anfragen den Vorteil, dass durch die Nutzung eines Ticketsystems alle Anfragen detailliert dokumentiert werden und bei Bedarf nachvollzogen werden können. Gerade bei einem Wechsel von Mitarbeitenden innerhalb einer Fachabteilung ist es notwendig, dass aufgebautes Wissen nach Möglichkeit automatisch festgehalten wird.

Die ersten Ansätze, um das langfristige Ziel zu verfolgen, sind bereits durch die Einrichtung einer zentralen E-Mail-Adresse zu RWTHonline sowie die Einführung eines integrierten Ticketools gemacht worden. Jedoch müssen diese in weiteren Gesprächen aller involvierten Parteien diskutiert werden. Die derzeitig diskutierten Ansätze haben den Fokus auf den digitalen Support. Perspektivisch muss auch ein Konzept für einen zentralisierten physischen Support erarbeitet werden.

Literaturverzeichnis

[Bgh11] Bischof, Hengstebeck, Grzemski „Einführung eines Service Desk am Rechen- und Kommunikationszentrum der RWTH Aachen University“ in Prozessorientierte Hochschule, 2011.

[Gh17] Grzemski, Hengstebeck: Future challenges for quality-assured IT support through

cooperative structures in EUNIS 2017, 2017.

[Hä14] Häußling, Roger: Techniksoziologie. Nomos Verlagsgesellschaft, Baden-Baden, 2014.

[In16] Informationsverarbeitung an Hochschulen – Organisation, Dienste und Systeme, http://www.dfg.de/download/pdf/foerderung/programme/wgi/kfr_stellungnahme_2016_2020.pdf, Stand 10.04.2017.

[It17a] IT Center der RWTH Aachen, http://www.itc.rwth-aachen.de/cms/IT-Center/Dienste/~evvb/kompletter-Servicekatalog, Stand: 10.04.2017.

[It17b] IT-Konzept der RWTH Aachen, http://www.rwth-aachen.de/global/show_document.asp?id=aaaaaaaaaaudbcr&download=1, Stand 10.04.2017.

[Ja13] Jahresbericht der RWTH Aachen, http://www.rwth-aachen.de/go/id/dffm, Stand: 05.04.2017.

[Km16] kmk, Kultusministerkonferenz, https://www.kmk.org/themen/hochschulen/internationale-hochschulangelegenheiten.html, Stand: 05.04.2017.

[Phg17] Pieters, Hengstebeck, Grzemski: Einführung eines zertifizierten Qualitätsmanagementsystems im IT-ServiceDesk des IT Centers der RWTH Aachen University in Lecture Notes in Informatics, 2017.

[Rw14] RWTH Aachen University, http://www.rwth-aachen.de/go/id/hgii?#aaaaaaaaaaahgil, Stand: 04.04.2017.

[Rw17a] RWTH Aachen University, http://www.rwth-aachen.de/cms/root/Studium/Lehre/~djla/PuL-Projekt/, Stand: 04.04.2017.

[Rw17b] RWTH Aachen University, http://www.rwth-aachen.de/go/id/dxln, Stand: 05.04.2017.

[Rw17d] RWTH Aachen University, http://www.rwth-aachen.de/go/id/dxla, Stand: 06.04.2017.

[Rw17e] RWTH Aachen University, http://www.rwth-aachen.de/go/id/mwej, Stand: 06.04.2017.

[Si11] Nickel, Sigrun: Einführung. Zwischen Kritik und Empirie – Wie wirksam ist der Bologna-Prozess? In (Nickel, S. Hrsg.): Der Bologna-Prozess aus Sicht der Hochschulforschung. Analysen und Impulse für die Praxis, CHE gemeinnütziges Centrum für Hochschulentwicklung, Gütersloh, S. 8-17, 2011.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 1703

Visualizing Learning Behavior as Spatio-Temporal Trajectories

Kevin Fuchs and Peter A. Henning[1]

Abstract: The digitalization of teaching and learning has become an increasing desire for schools and universities. In order to apply digital media purposefully, educational organizations need to understand if and how students make use of digital contents and platforms. In the following we present a technique that uses arbitrary logging data as they may be present in any ICT systems that are commonly used to distribute digital learning contents. It transforms arbitrary data into spatio-temporal trajectories that can be analyzed only on the basis of their geometric relationships and characteristics. Through this we lift heterogeneous data to a highly abstract level. In an example, we illustrate how we can distinguish different types of users regarding temporal patterns and the learners' mobility. We are also able to recognize groups of students working on similar topics. We mostly understand the current state of our system as a tool that can give both researchers and teachers the possibility to examine student's behavior on a qualitative basis. In an outlook we furthermore describe how the system can be extended to support automatic clustering of learning behaviors.

Keywords: learning analytics, spatio-temporal database, e-learning, distant learning, computers in education, data mining

1 Introduction

Progress in the field of ICT has brought new opportunities for the delivery of information and the construction of knowledge. Especially the worldwide web enables us to spread multimedia content for mobile and distant learning. Consequently, in the sector of education desires have grown to integrate digital media into the curricula. To utilize digital media efficiently, purposefully and economically, educational organizations need to address the habits and behaviors of their students. Schools and universities operate diverse platforms to provide digital learning content. But often they do this in a kind of blind flight not knowing how their students make use of those offers. On the other hand schools and universities lack time and resources to run broad empirical studies on these questions.The respective platforms may provide logging and statistical functionality. However, they cannot be utilized without expensive preparation and often respective data has to be aggregated from different heterogeneous sources.

Basically, we need a method for data abstraction allowing us to join heterogeneous data sources and reduce complexity. In this paper we introduce the Hypercube Database – in

[1] Institute for Computers in Education, Karlsruhe University of Applied Science, Germany

doi:10.18420/in2017_171

the following abbriviated as HCDB, which is based on a spatio-temporal database with which we model students' behavior and measurements of influencing factors in the form of spatio-temporal trajectories. HCDB is based on a data model that describes any of n variables equally as a dimension in a n-dimensional space. No particular scale level is needed. Each individual is assigned a n-dimensional time-evolving vector drawing a n-dimensional trajectory in that space. Because all elements of that vector are treated equally, HCDB is indifferent of what each dimension represents. A vector element may be a variable indicating a student's position within a learning environment – for example a course that a student has visited, a file she has downloaded or a video he has watched. It may be a score a student has achieved on a specific item or it may represent an influencing factor like the student's location, the device she is using or even stress measurement data.

All this data is abstracted to n-dimensional hyper-polylines which are purely geometrical objects. This reduces complexity in so far as we can analyze these trajectories only with respect to their geometrical characteristics as well as their spatio-temporal similarities and differences. HCDB focuses especially on the time dimension, considering time a dominant factor for learning processes. Learning and teaching always induce the transformation of semantically linked content into a linear sequence of actions. Therefore, we expect time coherences to give us an insight into many aspects of learning. In the following we explain how we can use HCDB for a qualitative form of learning analytics. We will show how we can identify common patterns of behavior by abstracting arbitrary data to spatio-temporal structures. Researchers may use their findings from HCDB as a preliminary stage for further quantitative and empirical analysis. In a concluding section we will further give an outlook on how we intend to enhance our system such that an automatic clustering of learning histories can be performed.

2 The Hypercube Model

The data structure that is used by HCDB origins from the former INTUITEL project (Intelligent Tutoring Interface for Technology enhanced Learning) [He14b]. It was a research project funded by the European Commission including twelve European partners. The INTUITEL group developed a universal interface to enhance common learning management systems such that they work as adaptive learning environments. A key element of INTUITEL is its Hypercube Model which describes the learner's cognitive position within a learning environment as a hyper-space vector [FHM16]. INTUITEL uses this vector to determine the learner's cognitive distance with respect to predefined learning pathways in order to generate learning recommendations for the learner. The Hypercube Model describes a n-dimensional space with n being the number of knowledge objects (KO) in a learning environment. Knowledge Objects may represent atomic items in a learning management system like text items, exercises, test modules or video items. Knowledge Objects may also be logical elements containing other KOs. This may be courses or folders in a learning management system. For HCDB we enhanced this model by adding arbitrary dimensions

for other data items. We first elaborate on the Hypercube Model as it is used by INTUITEL and then explain how we enhanced it for HCDB.

Each of the n Hypercube dimensions is assigned a numeric value representing the state of progress that a learner has performed on the according KO at a certain point in time expressed by a value from the interval $[0, 1]$. A learner's position in this space is a time-evolving vector $L = (l_1, ..., l_n)$ drawing a trajectory in the n-dimensional space. This model can be envisioned as a n-dimensional hypercube with each edge representing the interval $[0, 1]$. This is also known as the "fuzzy hypercube" [Ko90]. The trajectory of any vector L is located within that hypercube. Figure 1 illustrates a hypercube with $n = 4$. Each edge represents a knowledge object a learner may attend to. The colored arrows describe exemplary transitions of a learner between KOs. In case the learner finishes one KO by the other in a disciplined way the learner's behavior results in a movement along the edges of the hypercube. In case the learner switches between KOs and/or does not process them completely, her movements result in a trajectory in the inner space of the hypercube. For didactic reasons a teacher may consider recommended learning pathways within that hyperspace. The INTUITEL system is capable of generating learning recommendations based on the distance between a learner's previous, personal learning pathway and the recommended one [He14a].

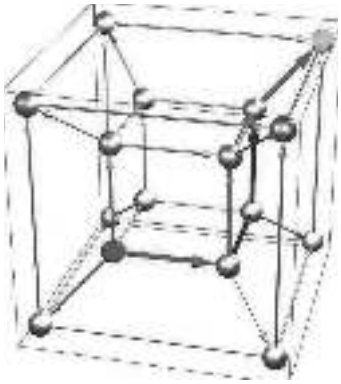


Fig. 1: 4D-hypercube for four KOs, coloured arrows describing possible learning pathways

3 The Advanced Hypercube Model

The initial purpose of the Hypercube Model was the representation of learning pathways and the according generation of learning recommendations. For HCDB we enhanced this model by considering not only a learner's progress on KOs but also any kind of data that can be of interest as far as learning analytics is concerned. The Hypercube Model is enhanced by k additional dimensions. This describes a $(n + k)$-dimensional space with n being the number of KOs in a learning environment and k being the number of additional data items. Each of these k dimensions may be assigned an arbitrary numeric value at a

particular point in time. A learner's position in this space is now a time-dependent vector $M = (m_1, ..., m_n, m_{n+1}...m_{n+k})$ forming a trajectory in the $(n + k)$-dimensional space. In case the k dimensions are normalized – which is not necessarily required – this enhanced model too converges to the fuzzy hypercube [Ko90]. Without normalization the hypercube simply becomes a hypercuboid. Learners' movements through this $(n + k)$-dimensional space define trajectories which we modeled with a spatio-temporal database as we will describe in the remainder of this paper.

4 History of Spatio-Temporal Databases

Before developing the design of HCDB, we evaluated existing research in the field of spatio-temporal databases (STDB). Actually, our spatio-temporal trajectories are high-dimensional objects that cannot be handled by common STDBs. Most STDBs are designed for real-world objects with two or three spatial dimensions. Purely temporal databases are for example the ARCADIA database for clinical applications [Co95], Calanda for time series with financial data [Sc95], ChronoLog running on top of a standard Oracle database [Bo94], HDBMS [Sa87], TDBMS [Ta97] and TimeDB for general purpose which is based on the ATSQL2 query language [St98, CRS06a, CRS06b].

The field of spatio-temporal databases is mostly dominated by Geographical Information Systems (GIS), Network and Facility Management, Land Information Systems (LIS) and Image Processing [AR99]. For example GRASS GIS [Ne12] and GeoToolKit [Ba00] are Geographical Information Systems while the CONCERT database focuses on management of raster images [RSS98, Re97]. The SECONDO database is a multi-purpose system for spatio-temporal data [AGB06]. Due to the nature of their subject these systems mostly provide support for only two or three spatial dimensions. The DEDALE database is capable of dealing with higher dimensions and is based on a constraint database technique that describes spatio-temporal objects as point sets defined by logical constraints [Ri03, Gr97].

5 Implementation of the Hypercube Database

All databases dealing only with two or three spatial dimensions are not an option for HCDB due to its high-dimensional space. The aforementioned DEDALE system appears to be an interesting candidate because of its constraint approach that can be exploited for high numbers of dimensions [GSR98]. However, the constraint database approach is most appropriate for querying geometric objects containing infinite point sets whereas it is less suitable for querying continuous trajectories. We therefore developed our own database but we used the temporal database TimeDB as its back end building the spatio-temporal functionality upon it. Figure 2 shows the fundamental parts of the system which is subdivided into the Vector Module, the Hypercube Module and the Database Access Module.

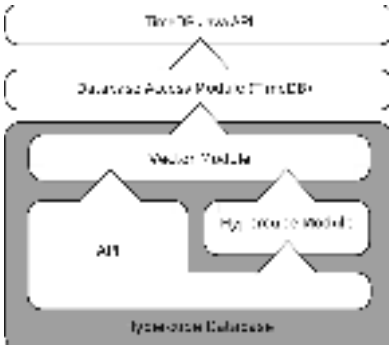


Fig. 2: Architecture of the Hypercube Database

5.1 Database Access Module

The system is built in Java and uses the TimeDB Java library which is managed by the ***Database Access Module***. TimeDB itself provides temporal support only for database tuples but not attribute-wise. The Database Access Module built upon TimeDB provides an interface for the Vector Module with which temporal support for single attributes is achieved.

5.2 Vector Module

The task of the ***Vector Module*** is the transformation of single measuring points into temporal vectors and storing it via the Database Accessor Module. Consider an individual for which we want to measure the values of m variables over time. For each variable we measure values at arbitrary points in time. For each variable we regard the lastly measured value as valid until a new value is measured. This way, we get a m-dimensional time-dependent vector for each individual. The listing below describes the transformation of measuring points into vector representation.We illustrate the subsequent insertion of measuring points and the evolution of the vectors for a trajectory with three variables a_1, a_2 and a_3.

At the beginning all variables have an initial value e.g 0 from start to eternity.

$$a_1 = 0 \; for \; t \; \in [0, forever)$$
$$a_2 = 0 \; for \; t \; \in [0, forever)$$
$$a_3 = 0 \; for \; t \; \in [0, forever)$$

Now we insert the measuring points $a_2 = 3$ at the time point t_1, $a_2 = 5$ at t_2 and $a_1 = 7$ at t_3

$$a_1 = \begin{cases} 0 & for\ t \in [0, t_3) \\ 7 & for\ t \in [t_3, forever) \end{cases}$$

$$a_2 = \begin{cases} 0 & for\ t \in [0, t_1) \\ 3 & for\ t \in [t_1, t_2) \\ 5 & for\ t \in [t_2, forever) \end{cases}$$

$$a_3 = 0\ for\ t \in [0, forever)$$

5.3 Hypercube Module

The ***Hypercube Module*** finally is responsible for three tasks as described below:

Interpolation: By default, the Vector Module represents its vector elements as period-wise constant values. Additionally, single dimensions of a trajectory can be interpolated by a linear function between each pair of consecutive measuring points.

Trajectory Clustering: To identify similar learning histories, the Hypercube Module is supposed to implement algorithms for trajectory clustering. This implies the calculation of similarity measures to be used for generic cluster algorithms.

Spatio-Temporal Indexing: For trajectory clustering we have to implement algorithms to examine trajectories with respect to spatio-temporal nearness and characteristics. For this purpose, similarity metrics have to be calculated and we need to provide efficient search algorithms. As these algorithms operate in a high-dimensional search space they have to be based on spatio-temporal indexing techniques.

5.4 API

The API provides access to the functionality of the Hypercube Database firstly in the form of Java methods, secondly in the form of a REST interface that can be accessed over a network. Both access methods provide functionality for the insertion and deletion of measuring points as well as for querying over trajectories. The Java API provides an additional interface to address the TimeDB back end directly with ATSQL queries. Moreover, trajectories can be visualized as we elaborate in the next section. It is possible to use the REST interface for real-time recording of data. For example a learning management system may address the REST interface asynchronously and transmit data about learners' actions.

5.5 State of Implementation

The Database Accessor Module and the Vector Module have been fully implemented. Equally, all parts of the API that are related to these two modules are complete. By the date of this publication the Hypercube Module is still in progress. This concerns the Indexing and the Clustering part. There is good reason why the Hypercube Module can not be implemented without careful research in the run-up and why we decide to publish the current state of this project. First there is the challenge of spatio-temporal indexing. Other spatio-temporal databases have implemented such indexing techniques. However, most of these solutions are not appropriate for the Hypercube Database due to its high-dimensional space. Furthermore, we intend to implement cluster algorithms to identify similar learning behaviors. For this, we first have to clarify which similarity metrics and cluster algorithms we should consider. We elaborate on both indexing techniques and cluster algorithms in the concluding *Future Work* section. As far as similarity metrics are concerned we decided to take a preliminary step visualizing the data as it is held by the Vector Module. We use this visualization to examine learners' behaviors visually. By this we get an orientation of possibly interesting patterns from which we may derive similarity metrics.

6 Visualization of Students' Behavior

We performed two tests of the Hypercube Database by recording logging data in two different learning platforms.

6.1 Students' Behavior on a Video Streaming Platform

The first platform was a video streaming site for lecture recordings. This platform contained 55 different video files and 200 users and provided logging data over a period of four semesters. The logging data was extracted and processed from the internal log files of the platform and it resulted in the following data items for each user:

system: operating system of the user (Windows, Mac OS, Linux, Android, etc.)
subnet ip: IP subnet of the user corresponding to the subnet mask 255.0.0.0
video title: title of the video file watched
seen percentage: percentage of minutes a user has watched of a specific video.

The above listed data contained 10 distinct operating systems, 33 different subnets and 55 video titles. The most obvious strategy for the conversion of this data into the Hypercube Model would conform to the following data model: 10 dimensions for the operating system with each dimension swapping between the values 0 and 1 (in use or not in use); 33 dimensions for the subnets having the value 0 or 1 (in use or not in use); 55 dimensions for the video titles with a value from 0 to 100 (seen percentage).

This would result in a 98-dimensional space. In fact our goal is to implement clustering algorithms that are able to handle such high dimensions. However, our intermediate purpose is to analyze the data visually just in order to obtain indications on the kind of similarities that occur in such data and how we can detect them algorithmically. The problem arising is not necessarily the high dimensions. It is rather the fact that the single dimensions would only be sparsely occupied. This is because a single video title is only retrieved occasionally and for a relatively short time compared to the overall period of four semesters. So if we visualize this data, it would be difficult for the human eye to recognize any patterns. We therefore modified the representation as follows: The Hypercube Model requires numeric values which means that string values have to be transformed into numbers. However, this is just a formal prerequisite. We decided to simply enumerate over the distinct string values for each data item. The result were the following four dimensions:

system: an integer between 1 and 10 (10 distinct operating systems)
subnet ip: an integer number between 1 and 33 (33 distinct subnets)
presentation title: an integer from 1 to 55 (55 distinct video titles)
seen percentage: an integer between 0 and 100

This way we reduced the dimensionality of the Hypercube Model massively by turning coordinate axises into values and merging them into shared dimensions. By this transformation we obtain four-dimensional time-evolving vectors for each student. We visualized each dimension of the vector as a time line which represents its values in the form of a color map. In this example each operating system is represented by one in 10 different colors, each subnet IP by one in 33 colors and each video title by one in 55 colors. The seen-percentage value is represented by a color scale that equates to the spectrum of light running from purple (0%) to red (100%). Additionally, for each student a normalized histogram is shown that indicates her frequency of activity. This enables us to categorize students' behavior by the following criteria:

regular users repeatedly used the video service during periods of several months. Figure 3 visualizes three representative individuals of that group.
occasional users watched the lecture recordings only occasionally. A visualization example of three occasional learners is illustrated by figure 4 .
dense users were inactive during longer time periods but used the video platform intensively during short time periods which indicates that they used the lecture recordings for specific purposes like the preparation for an exam. See figure 5 where the outlined areas represent a time period of 10 days.
mobile users were indicated by a fluctuation of the "system" and "subnetip" variable. Mobile learners were mostly present among the group of regular users. A visualization of three representative mobile users is shown in figure 6.
stationary users rarely or never changed their location or system. For example some dense users showed stationary behavior (see the third dense user in figure 5). One reason might be that when students prepare for exams they often do this in a ritualized way to discipline

themselves which involves learning in a particular place like in a library or at home. A visualization of three representative stationary users is shown in figure 7.

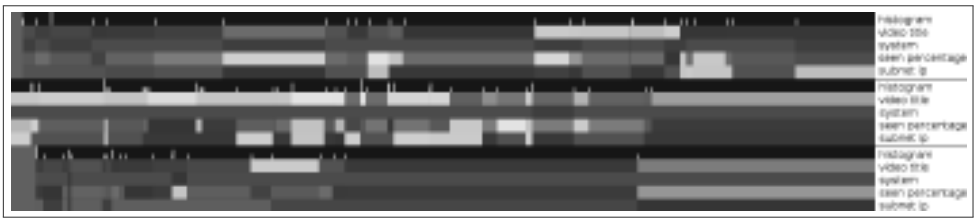


Fig. 3: regular users corresponding to a time period of 6 months (gray means no data is available)

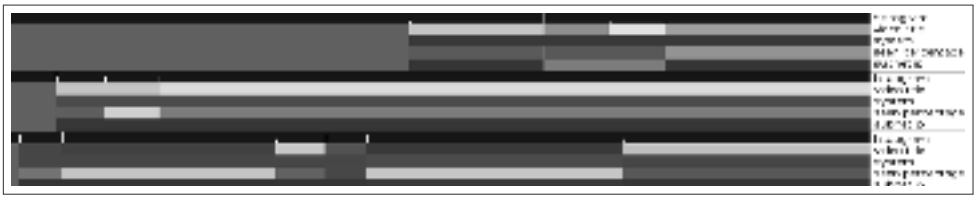


Fig. 4: occasional users corresponding to a time period of 6 months (gray means no data is available)

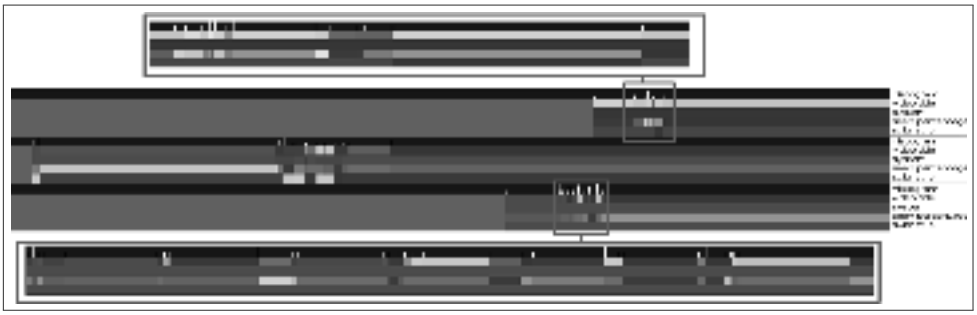


Fig. 5: dense users corresponding to a time period of 5 months (gray means no data is available)

Note that the HCDB holds a value for a variable until it is updated by a new event. This means that if a student watches for example 25% of a video and if he is inactive for the following two weeks, the visualization will show the respective color for a period of two weeks. How data is kept depends on the way that updates are inserted.

6.2 Spatial Discrimination to Identify Student Groups

In another example we were able to identify students that cooperated working on a set of exercises. It is only a small set of data and therefore we only use it to demonstrate how in principle spatial discrimination can be used to identify student groups. 15 students had to edit 47 articles in a Semantic MediaWiki application. The articles were grouped by topics and the students were distributed among these topics. The MediaWiki Software provided a logging function to record when a student viewed or edited an article. For the transfer



Fig. 6: mobile users corresponding to a time period of 4 months (gray means no data is available)

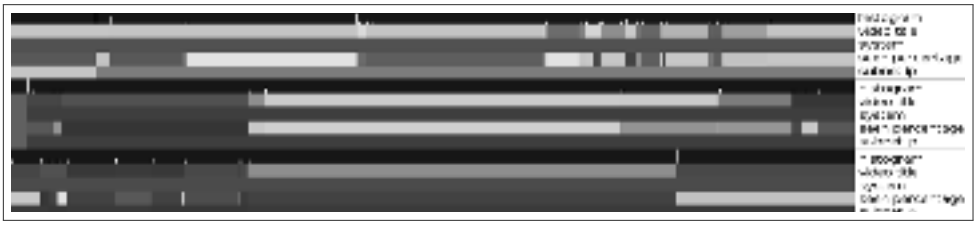


Fig. 7: stationary users corresponding to a time period of 4 months (gray means no data is available)

of the logging data we enumerated the articles. Each topic group was given a continuous interval. By this the visualization of each topic group corresponded to a subarea in the color spectrum. In terms of the Hypercube Model this equates to subspaces in one dimension. If a combination of m attributes was partitioned this way the result would be a set of m-dimensional subspaces. This method of grouping allows us to use spatial discrimination to identify phenomena that are correlated to such groups.

In this very simple example we can clearly identify students and their topic groups as it is illustrated by the example shown in figure 8. Each trajectory represents a single student. The first row of each trajectory indicates that the student has viewed an article, the second row recorded articles that were edited. At a glance we can distinguish three topic groups: bluish (trajectory 1 and 2), greenish (trajectory 3–5) and orange-colored (trajectory 6–8). Trajectory 6 represents a student that quit the course very early and therefore shows no more activity. Trajectory 2 and 8 represent students that joined the course later. Again, note that HCDB stores a value until it is updated by a new measuring point. If a student edits an article and if he is inactive for, lets say, the following two weeks, the visualization will show the color corresponding to the edited article for a period of two weeks.

7 Future Work: Spatio-Temporal Indexing and Clustering

Our first task for future work is the implementation of spatio-temporal indexing. Many of existing indexing techniques are based on the R-Tree family [Gu84, BM12] for multidimensional spatial indexing. [GS05] lists e.g. the 3D R-tree, the HR-tree, the RT-tree and the MR-tree. Moreover – for indexing moving objects with respect to the current time and the near future – [GS05] refers to TPR-trees, multilevel partition trees, kinetic B-trees and

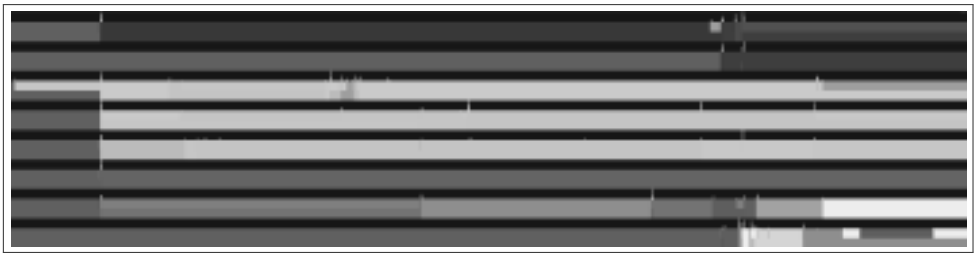


Fig. 8: stationary users corresponding to a time period of 3 months (gray means no data is available)

kinetic external range trees. The usefulness of those indexing techniques strongly depends on the kind of data and the kind of queries to be performed. In the case of the HCDB we are less interested in querying point sets like ”select the geographic region that was covered by the storm between 5 am and 7pm“. Such a query would be useful within a Geographical Information System and would return a point set as a geometric object altering over time. But in our case we are mostly interested in queries referring to entire trajectories like ”select all trajectories near to trajectory x“. For indexing and querying trajectories there are two techniques available: The Spatio Temporal R-tree (STR-tree) and the Trajectory Bundle Tree (TB-tree). Both index structures are appropriate for performing point, range and nearest-neighbor queries as well as trajectory-based queries [GS05].

However, tree-based index structures tend to perform poorly with high-dimensional spaces. This is because such search trees partition their search space by bounding boxes. The more dimensions we have, the more these bounding boxes tend to overlap. So to find a specific item, more sub-branches of the search tree have to be accessed. The X-tree is based on the R-tree and better optimized for multiple dimensions [BKK96]. However, our subject is spatio-temporal trajectories and not point sets. Trajectories own some particular characteristics we can utilize for efficient indexing: trajectories grow in a monotone way along the time dimension. Once a trajectory segment is inserted it is not altered or deleted and trajectory segments are usually inserted chronologically meaning that an index structure does not have to be reorganized for past insertions. Therefore, a good alternative is a grid-based index structure as it was implemented by SETI (Scalable and Efficient Trajectory Index) [CEP03]. SETI uses a two-level approach which treats the spatial and the temporal indexing separately. A grid index partitions the space by static, non-overlapping spatial static cells. The dimension of these cells corresponds to the dimension of the space. Such a grid index is especially interesting for two reasons: First — as temporal indexing is treated separately from spatial indexing — we can keep the temporal indexing mechanism of our TimeDB back end. Second the developers of SETI show that their technique ”does not suffer from the curse of dimensionality“ [CEP03].

Our second future task aims at automated clustering of trajectories. By the date of this publication it is not yet clear to the authors which cluster algorithms are most appropriate. We first have to identify useful similarity metrics. The visualization of data — as elaborated

in this paper — provides a qualitative insight into a variety of phenomena and we expect this to give us orientation about possible metrics.

To give an impression of the various issues in the field of trajectory clustering we briefly introduce other researchers' work in this area. Byoung-Kee Yi et al. introduced a method to discover similar patterns in time sequences [YJF98]. They especially considered time warping techniques to investigate similarities that occur in different time sequences at different time periods. Nanni and Pedreschi worked on density clustering focusing on the time dimension [NP06]. Their approach is based on the OPTICS algorithm (Ordering Points To Identify the Clustering Structure) [An99] which is an enhanced version of the DBSCAN algorithm (Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise) [Es96]. Furthermore, Jae-Gil Lee et al. addressed the problem of similar sub-trajectories instead of treating trajectories only as a whole [LHW07].

8 Conclusion

It must be outlined that the visualization technique we described here can be regarded as a special representation of time series data that could also be achieved with more simple methods. It does not yet justify the enormous expense of a spatio-temporal database implementation. However, the use of spatio-temporal database technologies obtains its justification in case of large data sets and the need of high processing speed. The capability of spatio-temporal indexing and the provision of efficient search algorithms provides a unique solution in a special use case of learning analytics that we name "real-time pathway prediction". Our long-term goal is to implement a system that is able to model the previous and partial learning pathway of a learner and compare it to other learners' pathways in the past. This would facilitate learning pathway recommender systems whose recommendations are based on learning behaviors of other learners for example on MOOC platforms. If this analysis is supposed to be processed in real-time and even on large data sets – as it is the case in a MOOC scenario – it becomes clear that this can only be achieved by the use of special indexing and search techniques.

The findings we presented and the system we built actually describe an intermediate state of the Hypercube Database. Our long-term objective is the automatic discovery of similar learning behaviors. For this we have to implement spatio-temporal indexing and clustering techniques. Concerning this we have to find metrics that provide information about similarities and dissimilarities of trajectories in the multidimensional space of the Hypercube Model. For this purpose and to get an insight into the data kept by the Hypercube Database, we implemented the visualization technique as described before.

In our example we only described categories of learners like "regular", "occasional", "dense", "mobile" and "stationary" but without quantifying their occurrences. For quantification we would first need to define objective measures for what a "regular", "occasional", "dense", "mobile" and "stationary" learner is. However, the current state of the system and its

visualization capabilities already allow qualitative analysis. Abstracting heterogeneous data to spatio-temporal structures detaches our perspective from single variables. Instead we can consider only differences, similarities and temporal changes to discover patterns and characteristics. Moreover, we sketched the facility of grouping data into value ranges for the purpose of spatial discrimination. This allows us to uncover correlations between individuals. In this light we consider the current state of the Hypercube Database as a useful method for teachers and course administrators to examine students' behavior. Furthermore, we regard it as a research tool to provide preliminary qualitative findings that can be used as a basis for empiric research.

References

[AGB06] Güting, R. H.; Almeida, V.T. de; Behr, T.: Querying Moving Objects in SECONDO. 7th Int. Conf. on Mobile Data Management, 47-51, 2006

[An99] Ankerst, M. et al.: ordering points to identify the clustering structure. Proc. ACM SIGMOD Int. Conf. on Management of data, 1999

[AR99] Abraham T., Roddik, J. F.: Survey of Spatio-Temporal Databases. GeoInformatica vol 3, no. 1, 61–99, 1999

[Ba00] Balovnev, O. et al.: Extending GeoToolKit to Access Distributed Spatial Data and Operations. Proc. 12th Int. Conf. on Scientific and Statistical Database Management, 2000

[BKK96] Berchtold, S., Keim, D. A.; Kriegel, H.: The X-Tree : An Index Structure for High-Dimensional Data. Proc. 22nd Int. Conf. on Very Large Data-Bases, 1996

[BM12] Balasubramanian, L.; Sugumaran, M.: A State-of-Art in R-Tree Variants for Spatial Indexing. Int. Journal of ComputerApplications, vol. 42 no.20 975–8887, 2012

[Bo94] Böhlen, M.:Managing Temporal Knowledge in Deductive Databases. Dissertation, Federal Institute of Technology Zurich, 1994

[CEP03] Chakka, V. P.; Everspaugh, A.C.; Patel, J.M.: Indexing large trajectory data sets with SETI. Proc. Conf. on Innovative Data Systems Research, 2003

[Co95] Combi ,C. et al.: Querying temporal clinical databases with different time granularities: the GCH-OSQL language. Proc. Annual Symposium on Computer Applications in Medical Care, 326–330, 1995

[CRS06a] Carvalho, A.; Ribeiro, C.; Sousa:, A.: A Spatio-temporal Database System Based on TimeDB and Oracle Spatial. Research and Practical Issues of Enterprise Information Systems, vol. 205, 11-20, 2006

[CRS06b] Carvalho, A.; Ribeiro, C.; Sousa:, A.: Spatial TimeDB - Valid Time Support in Spatial DBMS. Proc. 2nd Int. Advanced Database Conf., 2006

[Es96] Ester, M.: A density-based algorithm for discovering clusters a density-based algorithm for discovering clusters in large spatial databases with noise. Proc. 2nd Int. Conf. on Knowledge Discovery and Data Mining, 1996

[FHM16] Fuchs, K.; Henning, P.A.: Hartmann, M.: INTUITEL and the Hypercube Model - Developing Adaptive Learning Environments. Journal of Systemics, Cybernetics and Informatics, 2016

[GS05] Güting, R. H.; Schneider, M.: Moving Objects Databases. Morgan Kaufmann Publishers, 2005

[GSR98] Grumbach, S.; Segoufin, L.; Rigaux, P.: Efficient multi-dimensional data handling in constraint databases. BDA, 1998

[Gr97] Grumbach, S. et al.: DEDALE, A Spatial Constraint Database. DBPL, 38-59, 1997

[Gu84] Guttmann, A.: R-trees: a dynamic index structure for spatial searching. Proc. ACM SIGMOD Int. Conf. on Management of data, 47–57, 1984

[He14a] Henning, P.A. et al.: Learning Pathway Recommendation based on a Pedagogical Ontology and its Implementation in Moodle. Proc. DeLFI 2014 Conf., GI Lecture Notes in Informatics, 2014

[He14b] Henning, P.A. et al.: INTUITEL – Intelligent Tutorial Interface for Technology Enhanced Learning. Proc 22nd UMAP Conf., 2014

[Ko90] Kosko, B.: Fuzziness vs. Probability. Int. Journal of General Systems, vol. 17, 211-240, 1990.

[LHW07] Lee, J-G; Han, J.; Whang, K-Y.: Trajectory clustering: a partition-and-group framework. Proc. ACM SIGMOD Int. Conf. on Management of data, 2007

[Ne12] Neteler M. et al.: GRASS GIS: A multi-purpose open source GIS. Environmental Modelling & Software 31, 124–130, 2012

[NP06] Nanni M.; Pedreschi, D.: Time-focused clustering of trajectories of moving objects. Journal of Intelligent Information Systems vo.l 27, no. 3, 267-289 2006

[Re97] Relly, L.et al.: Physical Database Design for Raster Images in Concert. 5th Int. Symposium on Spatial Databases, 1997

[Ri03] Rigaux, P. et al.: Building a constraint-based spatial database system: model, languages, and implementation. Inf. Syst. 28(6): 563-595, 2003

[RSS98] Relly, L.; Schuldt, H.; Schek, H.: Exporting Database Functionality - The CONCERT Way. IEEE Data Eng. Bull 01/1998; 21:43-51, 1998

[Sa87] Sarda, N. L. : Design of an Information System Using a Historical Database Management System. Proc. 8th. Annual Int. Conf. on Information Systems, 86-96, 1987

[Sc95] Schmidt, D. et al: Calanda - a Complete Solution for Time Series Management in Banking, UBS, Zurich, 1995

[St98] Steiner, A.: A Generalisation Approach to Temporal Data Models and their Implementations. Dissertation, Swiss Federal Institute of Technology Zurich, 1998

[Ta97] Tansel, A. U.: Temporal Relational Data Model. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, vol. 9 no. 3, 1997

[YJF98] Yi, B-K.; Jagadish, H.V.; Faloutsos C.: Efficient retrieval of similar time sequences under time warping. Proc. 14th Int. Conf. on Data Engineering, 1998

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 1717

Konzept und Prototyp einer dezentralen Wissensinfrastruktur zu Hochschuldaten für Mensch und Maschine

Vera Meister[1], Jonas Jetschni[2] und Sebastian Kreideweiß[3]

Abstract: Der Beitrag beschreibt den Stand der Entwicklungen für eine dezentrale Wissensinfrastruktur zu Hochschuldaten, welche Mehrwertdienste für Mensch und Maschine unterstützt. Im Fokus stehen zunächst wenig volatile Daten zu Studiengängen, die aktuell mit hohem Aufwand in den verschiedensten technischen und organisationalen Strukturen vorgehalten werden. Das zeigt eine aktuelle Analyse der Ausgangslage. Das Architekturkonzept kann als Knowledge Graph beschrieben werden, der Webseiten von Hochschul-Content-Management-Systemen (CMS) als primäre Wissensquellen nutzt. Dies wird zunächst durch CMS-Extensions erreicht, die auf Semantic-Web-Technologien, insbesondere auf schema.org, JSON-LD und SPARQL setzen. Die Anbindung weiterer strukturierter und semi-strukturierter Wissensquellen erfolgt in transparenten Datenintegrationsprozessen, welche individuelle Orientierung ebenso wie anforderungsspezifische Datenaktualisierung unterstützen. Neben der systematischen Darstellung des Architekturkonzeptes werden Meilensteine der prototypischen Implementierung erläutert. Der Beitrag schließt mit einem Ausblick auf Anforderungen und Rahmenbedingungen einer produktiven Implementierung.

Keywords: Knowledge Graph, dezentrale Wissensinfrastruktur, strukturierte Hochschuldaten, Maschinenlesbarkeit, Semantic Web

1 Einführung und Motivation

Die Bereitstellung aktueller, umfassender und exakter Daten zu Hochschulen und insbesondere zu ihren Studienangeboten kann als wesentliche Voraussetzung für eine adäquate Allokation von individuellen, betriebswirtschaftlichen und sogar volkswirtschaftlichen Ressourcen angesehen werden. Relevante Entscheidungen in diesem Kontext sind beispielsweise die Auswahl eines Studiengangs und Studienortes durch einen Studieninteressierten oder der Abschluss einer Kooperationsvereinbarung über duale Studiengänge bzw. über gemeinsame Forschungsprojekte zwischen einem Unternehmen und einer Hochschule. Auf volkswirtschaftlicher Ebene stehen Fragen der öffentlichen Finanzierung und der Sicherung des Fachkräftebedarfs im Mittelpunkt.

Als primäre Quelle der betreffenden Daten sind Hochschulen in eine Vielzahl von Publikationsaktivitäten eingebunden, die sich technisch je nach Adressat deutlich unterscheiden

[1] Technische Hochschule Brandenburg, Fachbereich Wirtschaft, Magdeburger Str. 50, 14770 Brandenburg a.d.H., vera.meister@th-brandenburg.de
[2] ebenda, jonas.jetschni@th-brandenburg.de
[3] CPS-IT GmbH, Gustav-Meyer-Allee 25, Gebäude 13/5, 13355 Berlin, sebastian.kreideweiss@cps-it.de

doi:10.18420/in2017_172

können. So werden mit großem Aufwand Webseiten im Rahmen von Content Management Systemen (CMS) gepflegt, um die breite Öffentlichkeit zu informieren. Zentrale Portale werden regelmäßig mit den aktuellen Daten befüllt – meist in manuellen Redaktionsprozessen. Darüber hinaus werden Daten für die öffentliche Hand bereitgestellt, zumeist in Form semistrukturierter Dateien. Tatsächlich können sich Informationsbedürfnisse und Rezeptionsformen der beteiligten Parteien sehr stark unterscheiden, sodass die Vielzahl an Publikationsprozessen auf den ersten Blick gerechtfertigt erscheint. Webseiten und Portale zielen primär auf menschliche Nutzer, Datenbanken erlauben maschinelle Nutzung, sind jedoch zumeist nicht öffentlich zugänglich bzw. in den zugrundeliegenden Schemata proprietär und untereinander inkompatibel.

Das hier vorgestellte Konzept einer dezentralen Wissensinfrastruktur zielt zunächst auf eine Verringerung des Pflegeaufwandes durch die automatische Bereitstellung konsolidierter Daten, die sowohl von Menschen als auch von Maschinen rezipiert werden können. Es nimmt ferner die Möglichkeiten für eine umfassende Integration von Daten aus den verschiedensten Quellen auf Basis eines abgestimmten Vokabulars in den Blick und zeigt, wie in der Folge ganz neue Wissensdienste aus der Nachnutzung dieser Datenbasis kreiert werden können.

Im folgenden Abschnitt soll zunächst die Ausgangssituation sowohl aus organisationaler als auch aus technischer Sicht näher analysiert werden. Dabei wird auf den Stand des Wissens auch außerhalb der betrachteten Domäne Bezug genommen. Die bereits kurz skizzierten Probleme und Bedarfe werden systematisch dargestellt und exemplarisch quantifiziert. Darauf aufbauend wird in Abschnitt 3 ein Lösungsvorschlag in Form eines integrierten Konzeptes für eine dezentrale Wissensinfrastruktur – einen sogenannten Knowledge Graphen – entwickelt. Abschnitt 4 widmet sich detailliert dem aktuellen Stand der prototypischen Implementierung dieser dezentralen Wissensinfrastruktur und nimmt dabei alle konzeptionellen und technischen Komponenten in den Blick. Abschnitt 5 thematisiert Maßnahmen zur Entwicklung der Community sowie erste Schritte zur produktiven Implementierung.

2 Ausgangssituation

Die Analyse der Ausgangssituation stützt sich auf direkt und indirekt erhobene Daten. In Voruntersuchungen [JM16] wurden an zehn Hochschulen in Deutschland Experteninterviews mit relevanten Akteuren durchgeführt. Darüber hinaus wurde auf Untersuchungen zum Einsatz von CMS an deutschen Hochschulen zurückgegriffen [Re17]. Nicht zuletzt wurde das Leistungsportfolio eines der größten deutschen Hochschulinformationsportale untersucht [Ze17]. Der Ermittlung des aktuellen Entwicklungsstandes bei der Einbindung von organisationalen CMS in Knowledge Graphen liegt eine umfassende Literaturanalyse zugrunde. Die folgende Darstellung der Ergebnisse der Analyse soll sich auf die wichtigsten Akteure, Medien und Technologien beschränken. Bereits hier wird eine große Bandbreite sichtbar, sodass die Problemlage klar erkennbar wird.

Tab. 1 strukturiert das Handlungsfeld Bereitstellung und Nutzung von Daten zu Studienangeboten an Hochschulen nach Akteuren, Medien und Technologien. Diese Übersicht zeigt, dass eine Reihe von Akteuren an Hochschulen damit befasst ist, Daten zu Studiengängen in eine Vielzahl von Systemen bzw. in verschiedenen Formaten einzupflegen. Die Zyklen der Pflege und Aktualisierung unterscheiden sich naturgemäß, sodass neben dem hohen Aufwand auch mit Dateninkonsistenzen zu rechnen ist. Die Leiterin der Marketingabteilung einer kleinen Hochschule (eine der in [JM16] interviewten Experten) berichtete darüber, dass jedes Semester mehr als 50 Portale zu pflegen seien.

Datenanbieter	Medien für die Datenbereitstellung	Technologien für die Datennutzung	Datennutzer
Web-Redakteure der Hochschule	Backend des CMS der Hochschule	Hochschul-Webseiten	Menschen (breite Öffentlichkeit)
Hochschul-Verwaltung	Semistrukturierte Daten (z. B. Excel)	Proprietäre Datenbanken	Systeme der öffentlichen Verwaltung
Marketing der Hochschule	Portalformulare, E-Mail	Proprietäre Datenbanken	Systeme der Portalanbieter
		Proprietäre REST APIs	Webbasierte Dienste
		Portal-Frontend mit Such- und Filterfunktionen, semantisch annotiert	Menschen mit gezieltem Informationsbedarf
			Suchmaschinen

Tab. 1: Datenbereitstellung und -nutzung zu Studiengängen an Hochschulen

Neuere Portalangebote, wie z. B. ZEIT Campus [Ze17], beginnen seit kurzem die Daten auf ihren Portalseiten sowohl per REST API bereitzustellen, als auch semantisch zu annotieren, was als ein sehr sinnvoller Schritt angesehen werden kann. Eine Analyse dieser Angebote zeigt jedoch, dass die Annotationen nicht das Ziel verfolgen, wiedernutzbare Daten zu erzeugen. Die auf den Webseiten beschriebenen Entitäten werden typisiert und mit Metadaten versehen, aber sie haben keine URI zur eindeutigen Identifikation, sondern erscheinen als Blank Nodes. Damit sind sie nicht eindeutig weiter verknüpfbar, sondern dienen allein der besseren Auffindbarkeit durch Suchmaschinen. Das bestätigt auch eine weitere Analyse mit dem Google Test-Tool für strukturierte Daten [Go17].

Tab. 1 zeigt, dass ein bedeutender Teil der Daten in proprietären Datenbanken vorgehalten wird. Diese Daten sind damit nur über eine Vielzahl verschiedener und einzeln zu pflegender Schnittstellen oder auch überhaupt nicht zugänglich. Da Hochschulbildung in Deutschland Ländersache ist, wäre zu erwarten, dass die jeweils verantwortlichen Ministerien dafür sorgen, dass öffentlich zugängliche Daten zu Studiengängen vorgehalten werden. Tatsächlich erfolgt das in den einzelnen Bundesländern auf sehr unterschiedlichem Niveau. Oft wird auf gedruckte Broschüren verwiesen (Berlin und Brandenburg). Einige Länderministerien binden zentrale Portaldienste ein, wie z. B. Bayern den Hochschulkompass der Hochschulrektorenkonferenz.

Bezugnehmend auf Tab. 1 bleibt zu analysieren, inwiefern die CMS der Hochschulen als dezentrale Quellen für strukturierte Daten in Frage kommen. Für die Problematik der semantischen Annotation in CMS finden sich in der angewandten Forschung der letzten 10 Jahre eine Reihe von Lösungsansätzen: (i) Nutzung speziell erweiterbarer Rich-Text-Editoren [He17], (ii) PlugIns für Thesaurus-Manager, wie z. B. PoolParty [Se17], (iii) komplexe Architekturen für die semantische Anreicherung von CMS-Daten auf Basis von Textanalyse und Regelauswertung mit Apache Stanbol [BD13], (iv) semantisches Mapping der in den CMS-internen relationalen Datenbanken gespeicherten Daten, z. B. mittels D2RQ [Cy17].

Den Lösungsansätzen (i)-(iii) ist gemeinsam, dass sie einen zusätzlichen, z. T. spezielles Know-how erfordernden, Aufwand für die Web-Redakteure darstellen, was ihre praktische Implementierung maßgeblich erschwert, wenn nicht sogar verhindert. Ansatz (iv) ist in einer Branche bzw. Community nur dann umsetzbar, wenn die Streubreite bei den eingesetzten CMS nicht zu groß ist. Hochschulen in Deutschland nutzen überwiegend TYPO3, wie Abb. 1 zeigt.

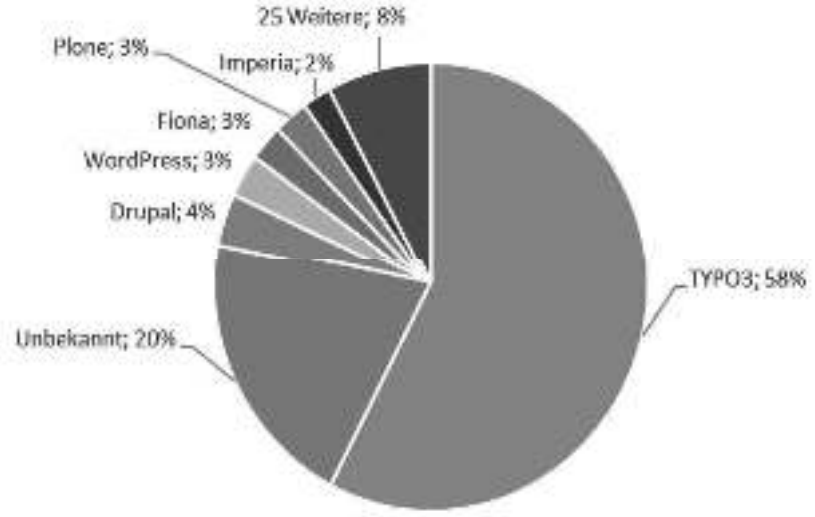


Abb. 1: CMS-Verteilung von Hochschulwebseiten in Deutschland (2017)

Zur Ermittlung dieser Daten wurde ein Dienst der Universität Erlangen-Nürnberg zur Bestimmung von Webseiten-Generatoren genutzt [Re17]. Auf diese Weise lässt sich ermitteln, dass knapp zwei Drittel der 425 untersuchten Hauptseiten deutscher Hochschulen mit dem CMS TYPO3 erzeugt werden. Differenziert man in 273 staatliche und 112 private und 40 konfessionelle Hochschulen, so hält sich TYPO3 in jeder dieser Teilgruppen auf Platz 1. Alle anderen CMS liegen im Bereich unter 5 %, allerdings nimmt mit etwa 20% der Sektor Unbekannt (i.S.v. nicht bestimmbar oder kein CMS vorhanden) den nächst größeren Anteil ein. 25 CMS mit einem Anteil von unter 1 % wurden zur besseren Übersichtlichkeit in der Rubrik „25 Weitere“ aggregiert.

Daten zu Studiengängen an Hochschulen werden also durch verschiedene Akteure über eine Vielzahl von Medien und Systemen bereitgestellt. Diese Daten aktuell zu halten und zu pflegen stellt einen hohen Aufwand dar. Wegen der vielen parallelen Prozesse ist mit Inkonsistenzen zu rechnen. Aktuell werden die so gesammelten Daten nicht in geeigneter Form offen zur Nachnutzung bereitgestellt. Da eine deutliche Mehrheit von Hochschulen in Deutschland das CMS TYPO3 nutzt, erscheint ein CMS-basierter Lösungsansatz erfolgsversprechend. Eine solche technische Implementierung sollte auf offene Standards setzen und zugleich den Web-Redakteuren keine zusätzliche Arbeit abfordern.

3 Lösungskonzept: Knowledge Graph

Ausgangspunkt des Konzepts für eine Wissensinfrastruktur zu Hochschuldaten war das abstrakte Modell von Datenbereitstellung und -nutzung, wie es bereits in Tab. 1 angewandt wurde. Die aus der Ausgangs-/Problemlage identifizierten Anforderungen lassen sich wie folgt aggregieren:

1. Die Dateneingabe soll keinen dauerhaft zusätzlichen Aufwand erzeugen; ein Großteil der redundanten Datenpflegeaufgaben soll eliminiert werden.
2. Die CMS der Hochschulen sollen dabei als initiale Datenquelle eine prominente Rolle spielen.
3. Für die Datenauszeichnung, -speicherung, -weiterverarbeitung und -bereitstellung sollen offene Standards verwendet werden, die die Semantik der Daten zweifelsfrei transportieren und eine breite Nachnutzung durch verschiedene Akteure erlauben. Akteure umfassen dabei sowohl Menschen als auch Maschinen.
4. Das Verlinkungspotenzial zwischen den dezentral eingesammelten Daten soll bestmöglich ausgeschöpft werden.

Eine fünfte Anforderung resultiert nicht unmittelbar aus der Analyse der Problemlage, ergibt sich aber aus den Anforderungen 3 und 4 sowie aus der dynamisch wachsenden und sich etablierenden Webinfrastruktur verlinkter offener Daten [Ab17]:

5. Die eingesammelten Daten sollen durch geeignete Daten aus offenen Quellen erweitert und damit auch qualitativ aufgewertet werden.

Eine so konzipierte Wissensinfrastruktur wird in der Fachliteratur als Knowledge Graph bezeichnet. Dieser Arbeit liegt die Definition von Paulheim zugrunde, nach der ein Knowledge Graph (i) Entitäten der echten Welt und deren Beziehung untereinander in einem Graphen organisiert; (ii) mögliche Klassen und Beziehungen von Entitäten in einem Schema definiert; (iii) es ermöglicht, beliebige Entitäten miteinander in Verbindung zu setzten; (iv) verschiedene fachliche Domänen umfasst [Pa16]. Abb. 2 zeigt das Architekturmodell dieser technischen Infrastruktur ergänzt um Wissensquellen und abgeleitete Wissensdienste. Es folgt damit dem bereits bekannten Paradigma auf einer höheren Ebene. Aufgrund der durchgängig gesicherten Semantik der Daten ist es gerechtfertigt, hier von

Wissensquellen und Wissensdiensten zu sprechen [PS15].

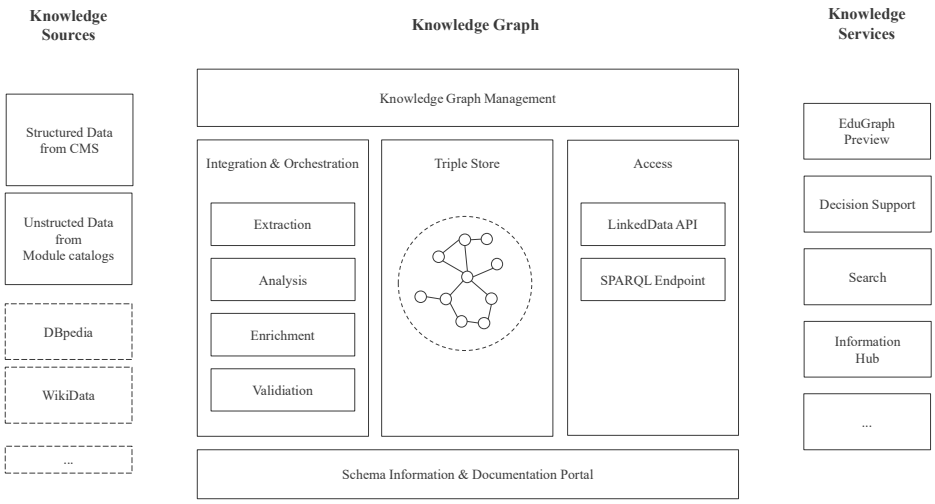


Abb. 2: Zielarchitektur einer dezentralen Wissensinfrastruktur zu Hochschuldaten

Alle grundlegenden Elemente dieser Zielarchitektur wurden bereits prototypisch implementiert [JM17]. Eine detaillierte Beschreibung folgt im nächsten Abschnitt.

4 Prototypische Implementierung

Da die dezentrale Wissensinfrastruktur ein komplexes System verschiedenster konzeptioneller und technischer Komponenten darstellt, gibt es nicht „den einen“ Prototypen, sondern eine Landschaft mehr oder weniger reifer, verknüpfter, vertikaler Prototypen. Sie umfassen das Schema des Knowledge Graphen, eine TYPO3 Extension zur automatischen Auslieferung annotierter Daten über CMS-Seiten, eine Analyse-Anwendung zur Auswertung unstrukturierter Daten, insbesondere von Modulkatalogen für die Spezifikation der Schwerpunkte von Studiengängen, ein Konzept zur Anreicherung der Daten durch Linked Open Data, einen Prozess zur Datenintegration und -persistierung, standardkonforme Schnittstellen für die Datenbereitstellung sowie exemplarische Wissensdienste mit Mehrwert für ausgewählte Nutzergruppen.

4.1 Spezifikation eines Schemagraphen

Nach der oben zitierten Definition eines Knowledge Graphen definiert er mögliche Klassen und Beziehungen von Entitäten der betrachteten Wissensdomänen in einem Schema. Im Hinblick auf eine automatische und reliable Integration von Daten aus unterschiedlichen Quellen sowie eine offene und breite Nachnutzbarkeit der Daten, sollte das Schema

so weit als möglich auf bereits spezifizierte und breit anerkannte, strukturierte Vokabulare setzen.

Zunächst fiel die Aufmerksamkeit auf LRMI (Learning Resource Metadata Initiative) der Dublin Core Education Community [BS15]. Da dieses Vokabular jedoch nur einen kleinen Teil der Domäne abdecken würde und zudem ein zentraler Entwickler dieser Spezifikation (Phil Barker) 2015 die Aufgabe übernahm, eine Education Extension für schema.org [Br17] zu entwickeln, fiel die Wahl auf diesen Ansatz, der sich in der Community der Webentwickler zu einem Quasi-Standard entwickelt. Tatsächlich ist das primäre Anwendungsfeld von schema.org die semantische Auszeichnung von Webseiteninhalten für Suchmaschinen. In Abschnitt 2 wurde diese Art der semantischen Auszeichnung bereits im Kontext des Portals ZEIT Campus diskutiert. Ungeachtet dessen erweist sich schema.org jedoch als ausreichend formal und streng, um auch Dienste zur Datenintegration, -anreicherung und -bereitstellung zu unterstützen. Ein weiteres Argument für die Nutzung dieses Vokabulars ist darin zu sehen, dass es geboten erscheint, den Graben zwischen konventionellen Webentwicklern und Vertretern des Semantic Web zu überbrücken. Das könnte mit schema.org gelingen. Dass es sich hier nicht um einen formal spezifizierten Standard des W3C handelt, sondern um eine Initiative von Big Playern im Suchmaschinengeschäft, wird aus Sicht der Autoren dadurch geheilt, dass die Weiterentwicklung und Pflege des Vokabulars von einer anerkannten Community Group des W3C getragen wird.

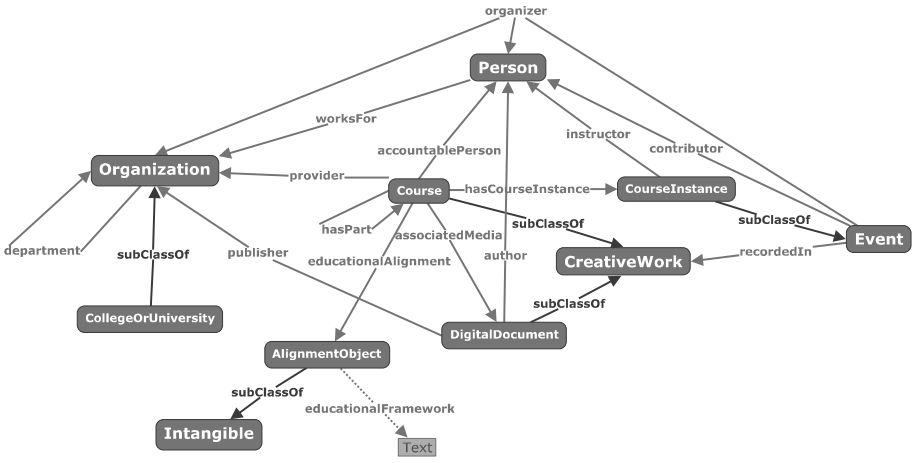


Abb. 3: Zentrale Klassen und Relationen des Knowledge Graph Schemas [MJ16]

Abb. 3 zeigt eine Projektion des Knowledge Graph Schemas auf essentielle Entitäten und deren Relationen, die alle dem Vokabular schema.org angehören. Metadaten sowie proprietäre Elemente für sehr spezifische Klassen und Relationen im Kontext von Studiengängen sind hier nicht abgebildet. Für die Zukunft ist denkbar, dass eine Community-getriebene Entwicklung, ggf. auch in Richtung einer assoziierten Extension zu schema.org, auf

den Weg gebracht wird. Aktuell wird daran gearbeitet, den Prozess der Pflege und Erweiterung des Knowledge Graph Schemas unter Berücksichtigung der Restriktionen der Domäne und der Implikationen auf die Wissensinfrastruktur zu modellieren und zu formalisieren.

4.2 Automatische Bereitstellung von Hochschuldaten

Wie in Abschnitt 3 herausgearbeitet, sollen Hochschul-CMS als initiale Datenquelle eine prominente Rolle spielen, dabei aber kein zusätzlicher Aufwand für Web-Redakteure bei der Dateneingabe und -pflege entstehen. Die Grundidee setzt darauf, dass ein Großteil der relevanten Daten in CMS ohnehin in strukturierter Form in den internen relationalen Datenbanken hinterlegt und somit grundsätzlich formal abrufbar ist. Von einem externen Mapping unter Einsatz z. B. der D2RQ-Technologie wurde abgesehen, da dies den Betrieb einer weiteren zentralen Serverinfrastruktur erforderte, die auf verteilte, interne Datenbanken zugreifen müsste. Das würde eine Reihe von Fragen z. B. zum Datenschutz nach sich ziehen. Aussichtsreicher schien vielmehr, das CMS selbst zu befähigen, strukturierte, maschinenlesbare Daten automatisch und en-passant zu menschenlesbaren Webseiteninhalten auszuliefern.

In Abschnitt 2 wurde argumentiert, dass wegen der enormen Verbreitung von TYPO3 dieser Ansatz erfolgsversprechend erscheint. Diese Annahme wird dadurch bestärkt, dass sich im September 2016 ein TYPO3 Academic Committee als Interessenvertretung TYPO3-nutzender Hochschulen konstituiert hat, das eine synergetische Weiterentwicklung und Nutzung hochschulspezifischer Produktfeatures durch erfahrene Agenturen und Entwickler anstrebt.

Für die semantische Auszeichnung stehen mehrere technische Optionen zur Verfügung. Erste Wahl für die Tag-interne, integrierte Annotation sind Microdata und RDFa. Beide liegen in aktuellen Spezifikationen des W3C vor. Im vorliegenden Fall wurde jedoch auf JSON-LD, einen weiteren W3C-Standard, gesetzt, da die Annotation hier nicht in die Arbeit des Web-Redakteurs integriert, sondern als zusätzliche Datenbankabfrage implementiert werden sollte.

Ein weiteres, bereits im Abschnitt 4.1 angeführtes, Argument zielt wieder auf die Überbrückung des Grabens zwischen konventionellen Webentwicklern und Semantic-Web-Experten. Dieses Ziel wird von JSON-LD nachhaltig verfolgt, liefert es doch die strukturierten Daten in einem sehr flachen Format aus, das von flexiblen Web-Diensten bis hin zu Micro-Services präferiert wird.

Die prototypische Implementierung dieser Schlüsselkomponente der dezentralen Wissensinfrastruktur liegt als Weiterentwicklung einer hochschulspezifischen Extension von TYPO3 vor. Sie wird von zwei im erwähnten Academic Committee engagierten Agenturen vorangetrieben. Aktuell gibt es eine Reihe von Testinstallationen, die die Funktionalität des Konzeptes belegen. Abb. 4 visualisiert ein so generiertes und auslesbares JSON-

LD-Skript. Es wird sichtbar, insbesondere im Vergleich zu den auf [Ze17] implementierten Annotationen, dass die semantische Tiefe und damit die Nachnutzbarkeit der Daten bereits etwas höher ist. Weitere Verbesserungen werden dann möglich, wenn weitere Teildomänen durch entsprechende Extensions unterstützt werden. Das ist auch das Ziel bereits initiierter Entwicklungsschritte.

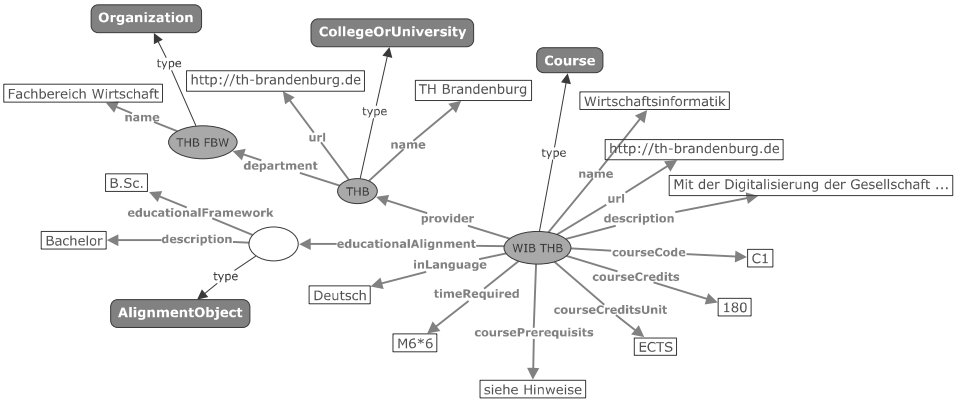


Abb. 4: In Studiengangsseite per JSON-LD-Skript eingebettete strukturierte Daten

4.3 Analyse unstrukturierter Daten

Neben den strukturierten Daten zu Studiengängen an Hochschulen, enthalten einschlägige Webseiten eine Fülle textueller Informationen, die im Sinne der Maschinenlesbarkeit als unstrukturierte Daten anzusehen sind. Aber auch für menschliche Nutzer kann die Vergleichbarkeit von textuellen Informationen aufwändig oder durch abweichende Begrifflichkeiten und Argumentationsmuster erschwert sein. Ein zentrales Informationsdokument zu jedem Studiengang ist der sogenannte Modulkatalog, der alle Module/Fächer eines Studiengangs beschreibt. Eigentlich gibt es dazu ein Spezifikationsdokument der Europäischen Kommission, was jedoch nicht streng verpflichtend ist. In der Praxis finden sich Modulkataloge in den unterschiedlichsten Ausprägungsformen und Formaten.

Die Forschungsfrage in diesem Teilprojekt bestand darin, ein Konzept zur automatischen Analyse von Modulkatalogen zu entwickeln, das es erlaubten würde, den Schwerpunkt eines Studiengangs zu ermitteln. Prototypisch wurde das für den Studiengang Wirtschaftsinformatik Bachelor umgesetzt, der nach den Empfehlungen der GI e. V. drei ungefähr gleichgewichtige Säulen aufweisen soll: Informatik, Betriebswirtschaftslehre und (genuine) Wirtschaftsinformatik. Zusätzlich wird eine vierte Säule erwähnt, die solche Fächer, wie Mathematik, Sprache und Schlüsselkompetenzen umfasst. Tatsächlich sind die Gewichtungen von Hochschule zu Hochschule sehr unterschiedlich, was z. T. mit der organisationalen Einbindung eines Studiengangs in einen Fachbereich zusammenhängt oder mit den fachlichen Präferenzen der maßgeblichen Hochschullehrer. Eine im Jahr 2014 im Rahmen einer studentischen Semesterarbeit durchgeführte Befragung an Hochschulen in

Berlin und Brandenburg ergab, dass sich sowohl Studieninteressierte als auch potenzielle Arbeitgeber für die Schwerpunkte eines Studienganges interessieren. Es wäre also hilfreich, darüber strukturierte Daten abrufen bzw. klar visualisierte Informationen ablesen zu können.

Das Analyse-Tool wurde auf Basis einer Apache Lucene Engine implementiert. In einer Vorverarbeitungsstufe „zerschneidet" es das Dokument in einzelne Module, ermittelt den jeweiligen ECTS-Wert und erstellt zu jedem Modul einen Indexvektor. In der eigentlichen Analyse werden die Abstände dieses Indexvektors zu Säulen-spezifischen Schlüsselwortlisten berechnet. Eine Aggregationsformel ermittelt aus diesen Daten und den ECTS-Werten die Säulengewichtung im betreffenden Studiengang. Über eine REST-Schnittstelle können die Ergebnisse als JSON-File abgerufen werden, wie das folgende Listing exemplarisch zeigt:

```
{"inf":0.242,"nn":0.177,"wi":0.404,"bwl":0.177}
```

Der hier analysierte Modulkatalog beschreibt einen Wirtschaftsinformatik-Studiengang mit einem starken Fokus auf genuine Wirtschaftsinformatik, einer normalen Ausprägung der Säule Informatik und schwächeren Anteilen aus der BWL-Säule und dem Feld der sonstigen Fächer. Die Ergebnisse des Analysetools decken sich mit exemplarischen manuellen Analysen, die im Vorfeld angestellt wurden.

4.4 Anreicherung durch Linked Open Data

Neben den formalen und fachlichen Aspekten zu Studiengängen, die aus den CMS bzw. aus der Analyse von Modulkatalogen extrahiert werden, können auch allgemeine Informationen zur geographischen Lage, zum Studienort selbst oder zu den Wetterverhältnissen vor Ort in verschiedenen Anwendungskontexten interessant sein, wie sie heute als standardisiert ausgezeichnete, offene Daten (LOD) zur Verfügung stehen.

Die dezentrale Wissensinfrastruktur zu Hochschuldaten greift aktuell auf zwei LOD-Wissensquellen zu: die DBpedia und die WikiData. Technisch erfolgt die Integration über SPARQL Queries und Statements. Einen Auszug aus einem solchen Skript zeigt Abb. 5 rechts unten. Die Query fungiert hier als Payload eines Serviceaufrufs im Rahmen eines umfassenden, vollautomatischen Datenintegrationsprozesses, der im folgenden Teilabschnitt beschrieben wird.

4.5 Integration und Bereitstellung

Während die vorhergehenden drei Teilabschnitte die prototypische Implementierung des automatischen Dateninputs aus verschiedenen Arten von Wissensquellen thematisierten (vgl. die linke Seite des Architekturmodells in Abb. 2), soll es nun um den zentralen Teil der Wissensinfrastruktur – den Knowledge Graphen selbst – gehen, der die Datenintegration vornimmt sowie für das Persistieren und die Bereitstellung der Daten sorgt. Auch

wenn für dieses Aufgabenpaket Systeme und Dienste „out of the box“ verfügbar sind, bleibt doch eine Reihe von Implementierungsfragen zu klären:

1. Durch welche Anlässe bzw. wie häufig soll der Prozess der Extraktion, Analyse und Erweiterung der Daten aus den Quellsystemen ausgelöst werden?

2. Wie soll der Prozess unter 1. technisch implementiert werden? Wie transparent soll die Implementierung sein? Welcher Automatisierungsgrad ist umsetzbar?

3. Welches Persistenz-System genügt den Anforderungen an Performanz, Datenintegrität und Robustheit im Fall von Fehlern und Störungen?

4. Welche Schnittstellen für die Bereitstellung der Daten für Zielsysteme sollen unterstützt werden?

Nicht alle diese Fragen können zum aktuellen Zeitpunkt als abschließend geklärt gelten. Zudem genügen einige Elemente der prototypischen Implementierung nicht den Anforderungen an ein Produktivsystem. So wird aktuell ein eher leichtgewichtiger Triple Store in einer ressourcenbeschränkten Serverumgebung eingesetzt. Auch die Performanz des zugehörigen SPARQL Endpoints würde schnell an ihre Grenzen kommen (Frage 3). Dagegen kann die Entscheidung für den Einsatz einer leistungsfähigen Process Engine für die Implementierung des komplexen Datenintegrationsprozesses als zukunftssicher angesehen werden (Frage 2). Abb. 5 zeigt einen Ausschnitt dieses Prozessmodells im Camunda Modeler. Das aufgeklappte Property Panel visualisiert die technische Spezifikation der Datenerweiterung durch Aufruf des SPARQL Endpoints der DBpedia.

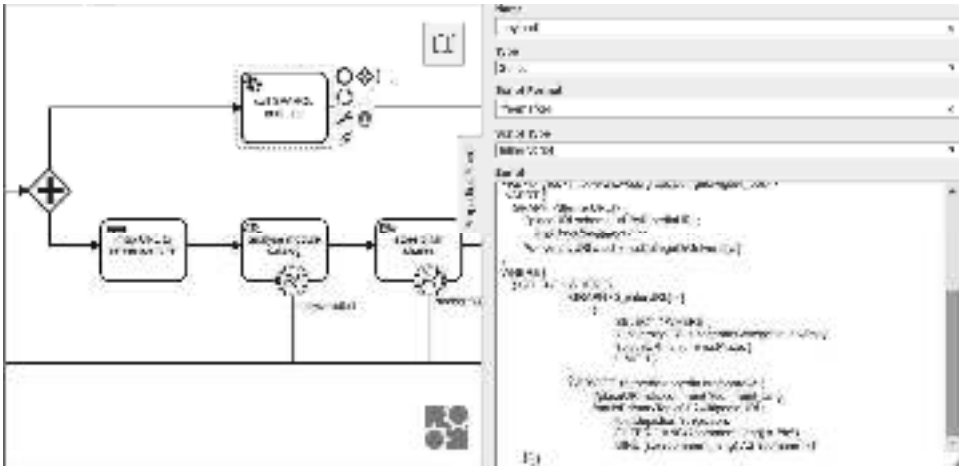


Abb. 5: Screenshot des Camunda Modelers mit Ausschnitt aus dem Integrationsprozess

Zu Frage 1: Daten zu Studiengängen zeichnen sich durch eine geringe Volatilität aus. Eine Anbindung der Datenquellen in Echtzeit bzw. eine Aktualisierung in engen Intervallen wären nicht gerechtfertigt. Prototypisch ist eine wöchentliche Aktualisierung aller Daten

implementiert. Der Datenintegrationsprozess selbst verarbeitet grundsätzlich nur Daten eines Studiengangs. Die vollständige Datenaktualisierung wird durch einen periodisch startenden übergreifenden Prozess gesteuert. In anderen Anwendungsfällen kann es interessant sein, nur die Daten einer Hochschule bzw. eines Studiengangs zu verarbeiten. In diesem Fall kann ein externes Anwendungssystem, wie z. B. das Preview Tool, einen einzelnen, studiengangspezifischen Datenintegrationsprozess auslösen.

Frage 4 ist Gegenstand weiterführender Forschungen und Entwicklungen. Die generische Bereitstellung der Daten über den SPARQL Endpoint des Triple Stores ist ohne technischen Zusatzaufwand oder logische Einschränkungen in der Auswertbarkeit der Daten gegeben. Beim Übergang zum Produktivbetrieb wäre jedoch das Problem der Überlastung des Endpoints bei massiven Anfragen zu adressieren. Das Problem des Technologie-Gaps zwischen konventionellen Web-Technologien und Semantic-Web-Technologien ist prototypisch mit Hilfe eines Dienstes gelöst, der den Zugriff auf die Daten über standardisierte REST APIs erlaubt, die auf vorkonfigurierten SPARQL-Anfragen basieren [MH16].

4.6 Optionen für Mehrwertdienste

Zum Abschluss der Darstellungen zur prototypischen Implementierung einer dezentralen Wissensinfrastruktur zu Hochschuldaten soll nun die Nutzerseite in den Blick genommen werden. Tab. 1 machte bereits deutlich, dass die Hochschuldaten von verschiedenen Nutzerkategorien – sowohl Menschen als auch Maschinen – verwendet werden; allerdings sind dafür in fast allen Kontexten redundante Prozesse der Pflege in unterschiedlichen Systemen und technischen Kontexten notwendig. Das vorgestellte Konzept und die Elemente seiner prototypischen Implementierung haben gezeigt, dass diese Schwierigkeiten durch ein Bündel von Technologien, Prozessen und Entscheidungen überwunden werden können. Diese Infrastruktur unterstützt gleichberechtigt die „Informationsbedürfnisse“ von Menschen und Maschinen. Zum Beleg sollen exemplarisch zwei Use Cases und dazu passende Mehrwertdienste dargestellt werden.

Use Case 1. Web-Administratoren von Hochschulen wollen sich im Vorfeld über Möglichkeiten und Konsequenzen einer Anbindung an die dezentrale Wissensinfrastruktur informieren und dafür Qualität und Informationsgehalt der über ihr CMS gestreuten strukturierten Daten visuell prüfen.

Mehrwertdienst Preview Tool. Eine einfache Nutzeroberfläche erlaubt die Eingabe der URL einer CMS-Seite zum Studiengang. Über den Submit-Button wird der Datenintegrationsprozess angestoßen. Geeignete grafische Elemente visualisieren die integrierten Daten, die sowohl von der CMS-Seite selbst, aus der Analyse des Modulkatalogs sowie aus der Anreicherung aus externen Quellen stammen. Sofern Daten(elemente) fehlen oder nicht analysiert bzw. angereichert werden können, werden entsprechende Fehlermeldungen dargestellt. Abb. 6 zeigt eine beispielhafte Ergebnisseite des Preview-Tools – hier mit einem vollständigen Datensatz.

Use Case 2. Marketing-Verantwortliche an Hochschulen sind daran interessiert, die Studiengangdaten auf zentralen Informationsportalen aktuell zu halten. Im Moment erfordert das die manuelle Pflege einer Vielzahl von Online-Formularen.

Information Hub. Die dezentrale Wissensinfrastruktur stellt zum einen REST APIs bereit, über welche die Informationsportale aktuelle Daten abrufen können. Zum anderen kann auch ein Web-Dienst implementiert werden, der die Portale proaktiv mit Daten im Falle einer Aktualisierung versorgt. Hier liegt eine klare Maschine-zu-Maschine-Kommunikation vor.

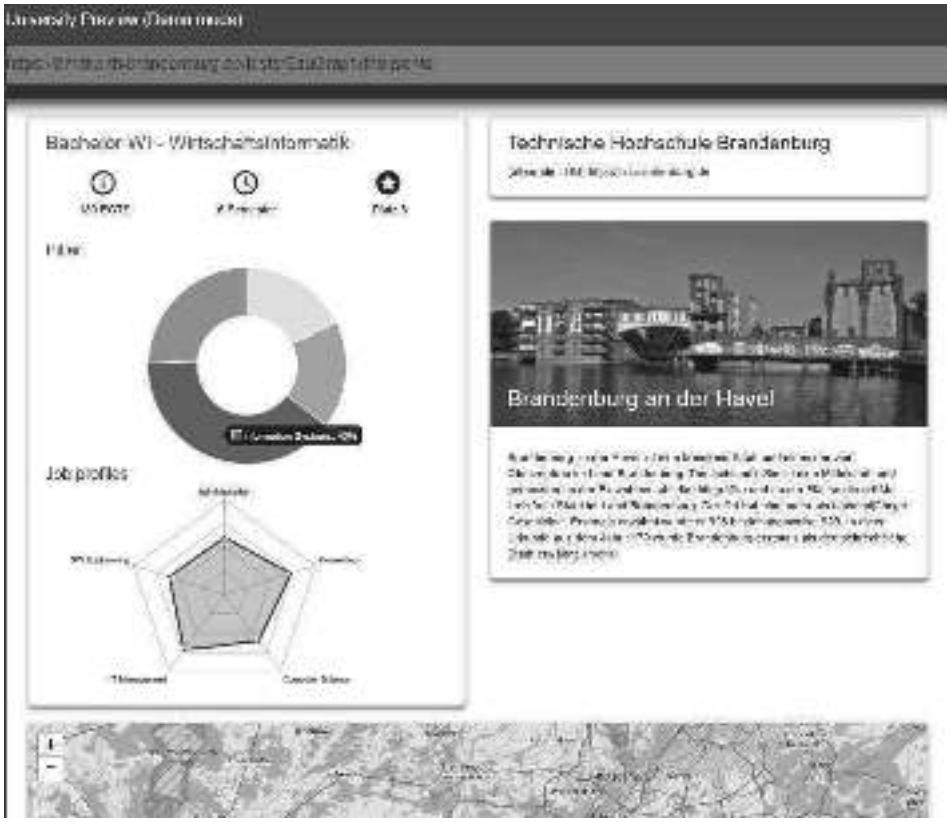


Abb. 6: Exemplarische Ergebnisvisualisierung mit dem Preview Tool

5 Ausblick Weiterentwicklung und produktive Implementierung

In die konzeptionelle Weiterentwicklung, die prototypischen sowie die geplanten produk-

tiven Implementierungen der im Beitrag beschriebenen Wissensinfrastruktur zu Hochschuldaten sind eine Reihe unterschiedlicher Akteure aus Wissenschaft, Hochschulverwaltung, Open-Source-Community, Unternehmen der freien Wirtschaft sowie eine Interessengruppe von Hochschullehrern der Wirtschaftsinformatik involviert. Insbesondere seien hier die TYPO3 Academic Association sowie der Arbeitskreis Wirtschaftsinformatik an Fachhochschulen der Gesellschaft für Informatik genannt.

Die initiale Entwicklung der TYPO3 Extension umfasste als Proof of Concept zunächst nur die CMS-Seiten von Studiengängen. Naheliegend und ohne konzeptionellen Mehraufwand sind im nächsten Schritt die bereits im Knowledge Graph Schema (vgl. Abb. 3) vorgesehenen Konzepte und Relationen zu implementieren. Tab. 2 zeigt in der Übersicht, auf welchen CMS-Seiten, welche Konzepte und Relationen zu implementieren sind und welche Arten von Informationen damit zugänglich gemacht werden können. Auf damit zusammenhängende Attribute (Data Properties) soll hier nicht eingegangen werden. Eine detaillierte Auflistung des geplanten Modellierungsumfangs findet sich unter [MJ16].

CMS-Seiten	Konzepte	Relationen	Informationsarten
Modul	Course, Person	hasPart, accountablePerson, associatedMedia	Modul-beschreibungen
Personen	Person, CreativeWork	author, organizer, worksFor	Aktivitäten und Arbeitsergebnisse
Lehr-veranstaltungen	Person, CourseInstance	hasCourseInstance, instructor, contributor	Veranstaltungspläne
Publikationen	Person, CreativeWork	author, recordedIn	Publikationslisten, Forschungsthemen

Tab. 2: Ausblick auf weitere Implementierungen in der TYPO3 Extension

Semantische Standards befördern in besonderer Weise iteratives Arbeiten, insofern sind auch Erweiterungen des bisherigen Schemas umsetzbar. Für eine gelingende produktive Implementierung können folgende drei Maßnahmen als essentiell identifiziert werden:

1. Entwicklung und Implementierung von Managementstrukturen,
2. Abstimmung und Konsolidierung des Knowledge Graph Schemas und der damit verbundenen Pflege- und Entwicklungsprozesse,
3. Schaffung einer relevanten Datenbasis durch produktive Implementierungen der TYPO3-Extension in Hochschul-CMS.

Bezugnehmend auf das Architekturschema in Abb. 2 handelt es sich um die horizontalen Blöcke des Knowledge Graphen (Maßnahmen 1 und 2) sowie um die initiale (namensgebende) dezentrale Wissensbasis (Maßnahme 3).

Die Maßnahmen 1 und 2 werden aktuell in Vorstudien evaluiert. Ein Projektantrag zur

Vorbereitung der produktiven Implementierung wurde auf den Weg gebracht. Träger sind hier primär die Wissenschaft sowie kooperierende Agenturen. Maßnahme 3 ist eingebunden in Initiativen des TYPO3 Academic Committee. Es ist davon auszugehen, dass der exemplarisch für TYPO3 verfolgte Entwicklungsansatz zur Publikation strukturierter Daten über Hochschul-CMS auch für andere Systeme implementierbar ist. Die dezentrale Wissensinfrastruktur könnte folglich mit geringem Aufwand eine weite Abdeckung sowie vielfältige Nutzungsoptionen für Mensch und Maschine im Hochschulumfeld erreichen.

Literaturverzeichnis

[Ab17] Abele, A., McCrae, J.: Linking Open Data cloud diagram 2017, http://lod-cloud.net/, Stand: 18.04.2017.

[BD13] Behrendt, W.; Damjanovic, V.: Developing Semantic CMS Applications. The IKS Handbook, 1. Auflage, Salzburg Research, Salzburg, 2013.

[Br17] Brickley, D.: Schema.org, https://schema.org/, Stand: 18.04.2017.

[BS15] Barker, P.; Sutton, S.: LRMI Metadata Terms in RDF, http://dublincore.org/dcx/lrmi-terms/, Stand: 09.02.2015.

[Cy17] Cyganiak, R.: D2RQ - Accessing Relational Databases as Virtual RDF Graphs, http://d2rq.org/, Stand: 18.04.2017.

[Go17] Google: Test-Tool für strukturierte Daten, https://search.google.com/structured-data/testing-tool?hl=de, Stand 24.06.2017.

[He17] Herath, S.: Schema.org configuration tool (RDF UI), https://www.drupal.org/project/rdfui, Stand: 18.04.2017.

[JM16] Jetschni, J.; Meister, V.; Prototypische Umsetzung eines dezentralen Studienführers für die Wirtschaftsinformatik an Fachhochschulen im deutschsprachigen Raum. In: Tagungsband zur 29. AKWI-Jahrestagung – Angewandte Forschung in der Wirtschaftsinformatik, Brandenburg a.d.H., S. 318-329, 2016.

[JM17] Jetschni, J.; Meister, V.: Prototypical Implementation of a Community Knowledge Graph, https://edugraph.github.io/architecture, Stand: 18.04.2017.

[MH16] Meroño-Peñuela, A.; Hoekstra, R.: grlc Makes GitHub Taste Like Linked Data APIs. In: 13th Workshop on Services and Applications over Linked APIs and Data, 20

[MJ16] Meister, V; Jetschni, J.: Strukturiertes Wissen an Hochschulen, https://edugraph.github.io/, Stand 24.06.2017.

[Pa16] Paulheim, H.: Knowledge Graph Refinement: A Survey of Approaches and Evaluation Methods. Semantic Web Journal, S. 1-23, 2016.

[PS15] Paschke, A.; Schäfermeier, R.: Einordnung und Abgrenzung des Corporate Semantic Webs. In: Corporate Semantic Web, Springer Berlin Heidelberg, S. 11-21, 2015.

[Re17] Regionales Rechenzentrum Erlangen der Universität Erlangen-Nürnberg, Übersicht der verwendeten Generatoren, Editoren oder Systeme an Hochschulen in Deutschland,

http://statistiken.rrze.fau.de/webauftritte/hochschulen/, Stand: 15.02.2017.

[Se17] Semantic Web Company: Semantic Drupal Modules based on PoolParty Semantic Suite, https://drupal.poolparty.biz/, Stand 18.04.2017.

[Ze17] ZEIT ONLINE GmbH: ZEIT Campus – Suchmaschine für Studiengänge, http://studiengaenge.zeit.de/, Stand 24.06.2017.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 1733

Process documentation as estimate for effective IT Governance

Markus von der Heyde[1] and Andreas Breiter[2]

Abstract: In organizations the overall work is split into tasks which are often referred to as processes. It is debatable if the tasks and procedures need to be documented or not. Does documenting processes of information technology (IT) make a difference for the organization? We have evidence that in higher education organizations in Germany, many institutions suffered in the past from the lack of documentation of IT. In this paper, we will present data that confirms advantages beyond the scope of the IT itself for organizations such as those universities who care for the documentation of the processes. The 2016 data from a survey in the German higher education system is analyzed specifically when looking at the question of pure existence of documentation of IT processes. How is this trivial view interlinked with other factors of the CIO structure, the IT financial situation, and many more? We observed that universities with IT process documentation on average a) spend more money on staff, b) get more value from IT, c) care for service level agreements, d) have higher security awareness, and e) have less shadow IT and being more centralized. Our findings are in line with proposition of BPMM, COBIT, ITIL and other frameworks, thus we support the emphasis on process orientation of IT including a solid documentation.

Keywords: IT Governance, University, CIO, Processes, Documentation

1 Motivation

The Object Management Group (OMG) defines the term “process” in the context of the Business Process Maturity Model (BPMM) as “a set of tasks or activities performed to achieve a given purpose or a specified result.” The traditional OMG meaning is stated as “documented procedure for performing some task within an organization e.g. software construction, payroll, order processing etc.).” [OMG08]. The main difference of both definitions is the documentation of the performed procedure or task. Does already this definition suggest a connection between the maturity of an organization and the documentation of the processes?

The German higher Education system is slowly adopting standards known to industry for years. This is taking the IT-Service departments through a series of changes on all levels. Higher Education Institutions (HEIs) are of particular interest as they have to

[1] vdH-IT, Hansastraße 8, 59425 Unna, Germany, info@vdh-it.de
[2] Universität Bremen, ifib, Am Fallturm 1, 28359 Bremen, Germany, andreas.breiter@ifib.de

doi:10.18420/in2017_173

meet expectations with conflicting goals in three sometimes very distinct areas: a) teaching and learning, b) research and data infrastructure and services, c) administrative IT services. Hence, IT governance has specific challenges. As public organizations, this includes governance structures and processes which are deeply rooted in traditional routines of public services. HEIs in Germany resemble rather public administrations than competitive research enterprises. It is noteworthy, that the common differences between research focused universities and the universities of applied sciences have been decreased by politics and other factors. Thus we expect the mechanisms for the effective use of IT to be more similar in the future between those two types of universities.

Meanwhile the recommendations by government agencies (e.g. The German Research Foundation, DFG) have not changed: HEIs in Germany (both universities and universities of applied sciences) being mostly independent from influence of politics have been requested to establish a central CIO function for more than 15 years [DFG01, DFG16]. Moreover, several not-for-profit-organizations emphasized the need to follow international recognized frameworks (e.G. ITIL or [ISO08]) [He08, GP11, HRK13, DS 15]. Both recommendations are only fulfilled to a limited degree. However, results from case studies within the higher education sector [Mo05, BB11] as well as the public administrations in Germany [BF11, GP14] confirmed successful implementations of the ITIL and COBIT framework respectively.

Looking at German Universities, one of the first with a statistical approach to measure maturity level of the IT governance was Schwabe [Sc10]. Later studies focused on the IT-Governance structure [WL14, He14, HB15] and the conditions in which a model would be advantageous. So far, there had been no confirmation of the success of process frameworks from a significant amount of universities. Therefore we used the data collection primarily focusing on CIO and Governance structures in Germany [HB16], the relation to IT benchmarking in the form of the complexity index [HB17] and analyzed the data concerning the question of successful process framework application.

One could argue that even without ~~a~~ good documentation, an IT organization can be effective; when everyone knows what to do, everything should run smoothly. Unfortunately sometimes common sense needs proof when it comes to the management of IT. In this paper, we are interested in measuring to which degree the documentation of tasks is connected with other factors of an IT organization and the maturity of this organization overall.

2 Method

The overview in Table 1 shows the number of institutions who participated in the 2016 survey on “IT-Governance and CIO structures”. The total sum of students shows the concentration of large student population in the research oriented universities in contrast to schools of music and arts or the universities of applied sciences.

Type of HEI	Number	Sum of students	HE participants in survey 2016	HE institutions with CIO
Research oriented Universities	110	ca.1.740.000	23 (ca. 21%)	ca. 50
Schools of Music and Art	54	ca. 36.300	2 (ca. 4%)	ca. 5
Universities of Applied Sciences	228	ca. 968.000	17 (ca. 7%)	ca. 30
Sum	**392**	**ca. 2.750.000**	**42**	**ca. 85**

Table 1: Size of HEIs in Germany in May 2016. In brackets the percentage who participated.

In a web-based questionnaire, representatives from German universities (CIOs, ICT directors or members of the board of directors) indicated the implemented IT Governance by describing participation in decision processes (as referred to by Weill and Ross [WR04]). The representatives also were asked to judge using several general statements about their institution and their personal view on contributing factors. In addition we collected a small subset of data on the actual institution otherwise used in benchmarking initiatives (see CAUDIT, EDUCAUSE Core Data Service and the EUNIS BencHEIT initiative). These numbers indicated the overall spending on IT, the size of the ICT department as well as the size of the university by means of student population, total staff size and research income.

In total, 128 people participated in the online survey. Unfortunately only 42 representatives from different universities provided enough data to be part of the actual analysis. The data was checked for plausibility and changed with permission of the participant where applicable. Afterwards all data was anonymized to eliminate prejudgments for the analytical phase. Within this group of 42 universities several datasets were not complete. Specifically only 24 institutions answered the survey block being relevant for this paper.

The data was analysed with U-test (also known as Wilcoxon-Mann-Whitney-Test). Therefore, we divided the group of universities based on their answer to one specific question. For example: the usage of an IT governance framework. The comparison of the two groups by means of the U-tests was conducted with a confidence level of 95% (error level of 5% respectively) for other judgements. This paper reports the average for each of the two groups, the standard deviation, the U-value-level appropriate for the group size at 5% significance level, as well as the actual relevant U-value of the statistical test.

3 Results

This paper focusses on results in connection to the statement: “The processes involved in the use of information technology (IT) at my university are not well documented.” as

translated from the German original “Die Prozesse zur IT-Versorgung an meiner Hochschule sind schlecht dokumentiert.” As expected the 24 answers varied on a five point scale (average 3.3, std. dev. 0.85) as shown in Table 2. We divided the dataset into two groups of equal sizes below the mean and above. Group 1 disagreed with the statement, thus claimed to have good documentation of IT processes at their university. Group 2 was either undecided or admitted to the potential deficit and therefore marked in red.

Actual verbal rating	Numerical score	Count	
I fully agree	1	-	group 2
I partly agree	2	5	
In between	3	7	
I partly disagree	4	11	group 1
I fully disagree	5	1	

Table 2: The table shows the histogram of all 24 ratings concerning the main statement, if process documentation of IT processes exists. The upper three cases (12 answers) are group into group 2; the lower two cases (also 12 answers) into group 1 for the further analysis.

The two groups were compared in more detail. In an explorative approach our predictions followed the above mentioned frameworks: Statements confirming an ordered IT support and statements indicating the use of those frameworks should reveal statistical differences in the two groups. For all U-Tests, also the reverse test was conducted to confirm whether or not the statement arguably adds to the question of cause and effect.

Table 3 gives us an overview of all U-tests with a significant result below the 5% level. All lines but one compare two groups with equal group sizes of 12 resulting in a U-value limit of 36 for the 5% level of significance. The data on staff costs were again incomplete in three cases leaving group 1 with 10 members und group 2 with 11 members (in this case the U-value limit is 26 for the 5% level of significance).

Mean gr. 1	Mean gr. 2	Std. dev.	U-value	English translation of the original statements
1.6	3.0	1.0	13.5	← We train our IT staff and develop competencies according to the tasks. {M}
67.3	47.5	17.5	16.0	(←)Average costs of IT staff {in 1000 € per full time equivalent, group size 10 and 11}

67%	8%	48%	30.0	← We cover the IT costs of the library within our IT cost estimate. {Yes/No}
2.0	3.5	1.1	18.0	← Our IT adds value for the success of the university. {M}
1.8	3.2	1.2	23.5	← The university appreciates and honors the commitment of IT. {S}
2.6	3.5	1.0	35.0	The flexibility of the IT organization matches the demand of the university. {S}
2.3	3.5	1.1	27.0	← We discuss IT services with our customers openly and transparently. {S}
3.3	4.3	0.9	28.0	For the IT-services we agreed on service level agreements (SLA) with our customers or their representatives. {S}
3.6	2.6	1.1	35.5	The delivery of our IT services is nonbinding and informal (e.g. by best effort). {S}
83%	17%	50%	24.0	← Information security is used for the complete institution according to standards. {Yes/No}
3.8	1.6	2.3	31.0	← The sum of the frameworks used for the complete university. {range 0 to 10}
3.2	4.4	1.4	36.5	Number of decision domains the central IT department is involved in. {range 0 to 5}
4.0	2.8	1.2	29.0	We have many different IT service providers within our university. {S}
5.0	4.2	0.8	36.0	We have no IT service at university level. {S}
3.6	2.3	1.2	30.5	We have a high rate of shadow IT at our university. {S}

Table 3: This table gives overview of all statements which reveal any significant difference for the two main groups. If the reversal U-test for the respective groups showed a significant difference for the main groups a "←" is added. The brackets indicate the scale of the statements the participants judged on or the numerical range respectively. Most statements were rated on the same five point scale as the original question as indicated with the {S} label. Two statements followed a five point scale similar to a maturity rating {M}. For the staff costs we asked the participants about staff size and total staff costs enabling us to calculate average costs per full time equivalent. The number of decision domains is going back to the domains defined by Weill and Ross [WR04].

Surprisingly, we did not find any correlation with the size of the institutions in the two groups [gr 1: 1455 FTE; gr 2: 1211; std. dev. 1516; not significant]. Nor did the overall IT spending of the universities shows any significant effect. Further, the variance of universities of applied sciences as well as the occurrence of music and art schools was not significantly different between the two groups.

4 Interpretations

In general, correlations like our observations do not indicate any causal relation. However, we argue that in many cases the underlying CIO structures, the general culture, and other factors at those institutions are the common base and actual causal source for observed correlations as observed by others [MS03, Ma11, HS16]. New management approaches go beyond the traditional service oriented principles and demand a culture of innovation [KA16]. However, those principles have to prove a consistent advantage in the future.

An in depth factor analysis was performed but showed no clear clusters that would allow a better understanding and therefore is not presented. Consequently, we grouped the statements in thematic categories following the proposed benefits of the common known IT frameworks. Let us revise some of the statements in more detail, grouped by the appropriate topic.

4.1 Overall cost of staff and professional training

We group the statements and variables into this section:

1. We train our IT staff and develop competencies according to the tasks.
2. Average costs of IT staff [in 1000 € per full time equivalent].
3. We cover the IT costs of the library within our IT cost estimate.

Group 1 (having some documentation about IT processes) strongly indicated (on average 1.6) having a plan in place for staff development (1) in contrast to group 2 (being on average undecided = 3.0). The IT staffs presumably are sent regularly to advanced trainings. This naturally enhances the competencies as well vice versa. Higher qualified staff more often asks for advance training in order to keep up with the general technical development.

We also observed nearly a 20 thousand Euro increased cost per full time equivalent (2) for group 1. The cost of IT staff in group 1 is 140% in comparison to the staff in group 2. This would also confirm the hypothesis, that highly trained staff understands the importance of a process documentation better.

Finally, the idea of having the library staff within the IT costs indicates for group 1 a higher integration of IT service and governance structure overall (3). Otherwise most

universities are very often unaware of the costs between different service units (central IT department and library for example). Within group 1 were the only three participants indicating the joint IT general service center for learning systems, administration and library confirming this view to some degree.

4.2 Value, commitment and flexibility of IT

We group the statements and variables into this section:

1. Our IT adds value for the success of the university.
2. The university appreciates and honors the commitment of IT.
3. The flexibility of the IT organization matches the demand of the university.

The application of COBIT, ValIT, and other frameworks often is motivated by the increase of the business –IT alignment resulting in an overall increased value of IT. Our two questions addressed exactly this proposition and the results confirm at least that those who implemented processes and documented them also believe in the result being visible (1). Not only the self-reports about increased value, but also the reflection of the University's judgement is indicated by the corresponding statement (2). Finally, even slightly significant results confirm the increase of flexibility having implemented IT processes in an orderly fashion (3). Often IT departments argue against the introduction of frameworks with a potential loss in flexibility which cannot be confirmed by our results. Group 1 agreed with all three statements whereas group 2 mostly rejected the three statements. Furthermore, the reversal U-test did not show a significant result.

4.3 IT Service Management

We group the statements and variables into this section:

1. We discuss IT services with our customers openly and transparently.
2. For the IT-services we agreed on service level agreements (SLA) with our customers or their representatives.
3. The delivery of our IT services is nonbinding and informal (e.g. by best effort).

All three statements are in direct or reverse alignment with ideas from IT Service Management: Statements (1) and (2) fit the predication having those with documented IT processes more often agree in contrast to those without documentation. Note that only the first statement also revealed a reversed significance; the other two did not. The agreement with statement (3) fits the predication, but reverses the logic: Here the universities without documentation (group 2) agree more often, since any informal service being delivered based on "best effort", does not require any documentation. Universities with service level agreements in place (group 1) have some documentation and therefore provide consequently services with an acceptance criterion more defined than "best effort".

4.4 Information security, governance and other frameworks

We grouped the statements and variables into this section:

1. Information security is used for the complete institution according to standards.
2. The sum of the frameworks used for the complete university.
3. Number of decision domains the ICT department is involved in.

When we broaden the view and also consider information security (1), we mostly observed a consistent answer from the participants. In each group, we noticed that two of the participants' answers veered from a direct relation in the main question. Those universities who established information security frameworks by definition follow some processes in IT. Therefore these universities who denied having processes but confirmed the overall application of information security might have misunderstood the question. Two other universities confirmed having the security in place, but do not follow any documentation. Overall these questions leave us with a consistency of 80% of the answers in this particular case of group 1.

For the reported number of overall frameworks we took the average sum of the indicated frameworks in a checklist (2). The potential maximal sum was 10. The frameworks in place differed between those universities of group 2 (with on average 1.6 framework in place) indicating no particular pattern. Again two universities in this group controversially indicated the overall use of the ITIL framework and therefore should be able to provide some documentation about their IT processes.

Not surprisingly both statements also reveal a significant reversed U-test. If information security is already implemented an appropriate process documentation is to be expected. As most frameworks are based on some documentation the second reversal seems trivial.

Finally, the number of decision domains as elaborated on in previous studies [He14, HB15, HB16] indicated in respect to the main statement that the involvement of the central IT department in to many decision processes (like in group 2) might not always be advisable (3). Those universities with a better documentation (group 1) the ICT department still takes part in decisions, but is reduced by more than one domain on average. This confirms earlier hypotheses were a CIO in place takes over some of the decision responsibilities and also frees the ICT to concentrate more on the service delivery.

4.5 Decentralized IT

We group the statements and variables into this section:

1. We have many different IT departments within our university.
2. We have no IT service at university level.
3. We have a high rate of shadow IT at our university.

The drawback situation of shadow IT and many departments not working closely together seems to be manifested by the last block of statements. First of all, there are more different players in the game (1) as well as less overall IT-Services in place (2). Last but not least the existence of shadow IT (statement 3) is a strong indicator for the lack of documentation (group 2) and the clear benefit of the application of standard frameworks as COBIT, IT Service Management and many others within group 1.

All statements do not reveal a reversed significant U-Test. Therefore, it could be hypothesized that the organization of IT either central or decentral does not determine the level of documentation in itself. In sum, those statements are a good indicator but do not provide any insight in cause and effect relations.

5 Summary

The presented results confirm that for the most part, there is a widely accepted relationship between process documentation and an effective IT management as well as IT service delivery also exists in the German higher education sector. The often made claim and belief that you need to differ too much to be able to apply common frameworks proved once more to be wrong. The opposite can be derived: IT organizations with a documented process orientation generate higher value and appear more flexible despite all formality of service level agreements. Based on correlations with of maturity measures this confirms the central role of a good documentation of IT processes.

Finally, IT departments with documented processes add more value to the universities. This in turn leads to a higher acceptance. Overall, the professional culture of a well-organized IT department seems to be prerequisite of a mature IT alignment, which manifest the change from a service provider to a business enabler.

Acknowledgments

We like to thank all participants to their insights and time to fill our online survey with meaningful data. Special thanks to Michaela Meyer (University of Bremen) for all help with the online survey tool.

6 References

[BB11] Börgmann, K.; Bick, M.: IT-Governance in deutschen Hochschulen - eine qualitative Untersuchung. Hochschulmanagement (HM) 6(2):47–53, 2011

[BF11] Breiter, A.; Fischer, A.: Implementierung von IT Service Management in der öffentlichen Verwaltung. Nationale und internationale Fallstudien und deren

vergleichende Analyse. Berlin: Springer, 2011.

[DFG01] Mönkediek, J.; Arends, P.: Informationsverarbeitung an Hochschulen – Organisation, Dienste und Systeme, Empfehlungen der Kommission für Rechenanlagen für 2001–2005, Deutsche Forschungsgemeinschaft, 2001. Visit http://www.dfg.de/download/pdf/foerderung/programme/wgi/wgi_kfr_empf.pdf

[DFG16] Informationsverarbeitung an Hochschulen – Organisation, Dienste und Systeme, Stellungnahme der Kommission für IT-Infrastruktur für 2016–2020, Deutsche Forschungsgemeinschaft, 2016. Visit http://www.dfg.de/download/pdf/foerderung/programme/wgi/kfr_stellungnahme_2016_2020.pdf

[DS15] Degkwitz, A.; Schirmbacher, P. (publ.): Informationsinfrastrukturen im Wandel. Informationsmanagement an deutschen Universitäten. BOCK + HERCHEN Verlag, 2015. Visit http://www.dini.de/fileadmin/docs/DINI_Informationsinfrastrukturen.pdf

[FL09] Fernández, A. M.; Llorens, F. L.: "An IT-Governance framework for universities in Spain". In: Proceedings of the EUNIS 2009 Conference: June 23rd to 26th 2009, University of Santiago de Compostela, 2009. Visit http://www.gti4u.es/pdf/an_it_governance_framework_for_universities_in_spain.pdf

[GP14] Grönert, T.; Pöppelbuß, J.; Breiter, A.: Reifegradbestimmung der IT-Governance: Eine Fallstudie zur Anwendbarkeit des COBIT 5 PAM in der öffentlichen Verwaltung. in: E. Plödereder, L. Grunske, E. Schneider & D. Ull (Hrsg.), Informatik 2014. Big data - Komplexität meistern, Stuttgart: Springer, S. 1513-1525, 2014.

[GP11] Görl, S.; Puhl, J.; Thaller, M.: Empfehlungen für die weitere Entwicklung der Wissenschaftlichen Informationsversorgung des Landes NRW, Köln, 2011

[He08] von der Heyde, M. et al.: IuK-Strukturkonzepte für Hochschulen - Empfehlungen zu Zielsetzung, ZKI e.V., Aufbau und Inhalt, 2008. Visit http://www.zki.de/fileadmin/zki/Publikationen/IuK-SK_Gesamt-V1_0_02.pdf

[He14] von der Heyde, M.: CIO-Modelle an deutschen Hochschulen Netzwerk der entscheidenden Faktoren, LNI 232, Seiten 1815-1823, 2014/9, Visit http://cs.emis.de/LNI/ Proceedings/Proceedings232/1815.pdf

[HB15] von der Heyde, M.; Breiter, A.: Wer entscheidet? IT-Governance an Hochschulen, in Lecture Notes in Informatics 246, 651-662, 2015

[HB16] von der Heyde, M.; Breiter, A.: CIO structures and the success of HE institutions, EUNIS 2016, Eunis Journal of Higher Education IT, ISSN 2409-1340, page 40-43, 2016. Visit http://www.eunis.org/eunis2016/wp-content/uploads/sites/8/2016/07/EUNIS2016_Book_of_Proceedings_v6.pdf

[HB17] von der Heyde, M.; Breiter, A.: Observations from the current CIO surveys in Germany – linking CHEITA's global complexity index (GCI) to other factors and frameworks. EUNIS 2017, Münster, 2017.

[HRK13] Entschließung der 13. Mitgliederversammlung der HRK am 20. November 2012 in Göttingen: Hochschule im digitalen Zeitalter: Informationskompetenz neu begreifen - Prozesse anders steuern, erschienen in Beiträge zur Hochschulpolitik 1/2013, Visit http://www.hrk.de/fileadmin/redaktion/hrk/02-Dokumente/02-10-Publikationsdatenbank/ Beitr-2013-01_Informationskompetenz.pdf

[HS16] Hansen, E. G.; Schaltegger, S.: The sustainability balanced scorecard: A systematic review of architectures. Journal of Business Ethics, 133(2), 193–221, 2016.

[ISO08] ISO/IEC 38500:2008 Corporate Governance of Information Technology", ISO/IEC, 2008. Visit www.iso.org

[KA16] Koch, P.; Ahlemann, F.; Urbach, N.: Die innovative IT-Organisation in der digitalen Transformation. In S. Helmke & M. Uebel (Hrsg.), Managementorientiertes IT-Controlling und IT-Governance (S. 177–196). Wiesbaden: Springer, 2016

[Ma11] Matthews, J. R.: Assessing organizational effectiveness: the role of performance measures. The Library Quarterly 81, no. 1, 83-110, 2011. Visit http://www.journals.uchicago.edu/doi/abs/10.1086/657447

[Mo05] Moog, H.: IT-Dienste an Universitäten und Fachhochschulen. Reorganisation und Ressourcenplanung der der hochschulweiten IT-Versorgung. Hannover: HIS. Hochschul-Informations-System GmbH, 2005.

[MS03] Maltz, A. C.; Shenhar, A. J.; & Reilly, R. R.: Beyond the balanced scorecard:: Refining the search for organizational success measures. Long Range Planning, 36(2), 187–204, 2003.

[OMG08] Open Management Group (OMG) (publ.): Business Process Maturity Model (BPMM) Version 1.0, 2008. Visit http://www.omg.org/spec/BPMM/1.0/PDF

[Sc10] Schwabe, G.: IT-Governance an Universitäten in Deutschland, Schweiz und Österreich, in ZKI-Herbsttagung 2010 – IT-Governance und IT-Infrastrukturmanagement in europäischer Ausprägung, September 2010, Visit http://www-docs.tu-cottbus.de/ikmz/public/files/Veranstaltungen/Tagungswoche_ 09_2010/Vortraege/ZKI/ 02_Schwabe_IT-Governance_VM_Teil_2.pdf

[WL14] Wimmer, M.; Lang, U. (publ.): „CIOs und IT-Governance an deutschen Hochschulen", ZKI e.V., Visit http://www.zki.de/fileadmin/zki/Publikationen/ ZKI_CIO- Studie_final.pdf

[WR04] Weill, P.; Ross, J. W.: IT Governance: How Top Performers Manage IT Decision Rights for Superior Results". Harvard Business School Press, Boston, 2004.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 1745

Ausgestaltung einer sozio-technischen Infrastruktur für die Verbreitung und nachhaltige Verankerung von digitaler Lehre

Jannica Budde[1], Iris Neiske[2] und Gudrun Oevel[3]

Abstract: Strategische Entscheidungen in Bezug auf digitale Lehre, etwa zum Thema Fördermaßnahmen und die Bereitstellung einer sozio-technischen Infrastruktur, sollten sich an Hochschulen nicht nur an sogenannten Leuchtturmprojekten ausrichten. Während diese zwar innovative Formen von digitaler Lehre und Werkzeuge hierfür entwickeln, ist es ebenso unabdingbar, erfolgreiche Diffusionsprozesse zu initiieren und so digitale Lehre in der Breite zu verankern. Denn dies ist letztlich die Voraussetzung für eine nachhaltige Verankerung von Innovationen in der Lehre, ob es sich dabei um die Verstetigung neuartiger Lehr-Lern-Konzepte oder digitaler Werkzeuge handelt. Im Folgenden werden Maßnahmen vorgestellt und diskutiert, die als Elemente einer sozio-technischen Infrastruktur die Verbreitung und nachhaltige Verankerung digitaler Lehre im Regelbetrieb unterstützen. Zielsetzung der hier vorgestellten Maßnahmen ist die Aktivierung der Lehrenden.

Keywords: Digitalisierung, Unterstützungsangebote, Lehre, Infrastruktur, Diffusion

1 Einleitung

Nachhaltigkeit wird ein immer wichtigeres Thema in Bezug auf digitale Lehre und ihre strategische Planung an Hochschulen. Dies betrifft einerseits die institutionelle Verankerung von Leuchtturmprojekten, gilt jedoch auch für den Bereich digitale Lehre im Allgemeinen. So stellen Handke und Schäfer für die erste E-Learning-Förderphase 2012 fest, dass „von den zwischen 2001 und 2003 geförderten 110 Verbundprojekten […] heute [2011] nur noch 17 aktiv betreut werden“ [HS12]. Sie erklären dies unter anderem damit, dass in vielen Projekten Expertise von außen herangezogen wurde. Auf ein weiteres Problem für die nachhaltige Verankerung weist zudem das Hochschulforum Digitalisierung hin: die ‚unverbesserlichen' Skeptiker*innen, also insbesondere Professoren und Professorinnen, die sich neuartigen Methoden und Werkzeugen verschließen [Bi16]. Der Einzug von Elementen digitaler Lehre bzw. die Normalisierung dieser für die Hochschullehre in der Fläche ist jedoch unabdingbar für deren nachhaltige Verankerung. So wie es heute für die meisten Lehrenden normal ist, mit PowerPoint-

[1] Universität Paderborn, Zentrum für Informations- und Medientechnologien, Warburger Str. 100. 33098 Paderborn, jannica.budde@uni-paderborn.de
[2] Universität Paderborn, Stabsstelle für Bildungsinnovationen und Hochschuldidaktik, Warburger Str. 100. 33098 Paderborn, iris.neiske@uni-paderborn.de
[3] Universität Paderborn, Zentrum für Informations- und Medientechnologien, Warburger Str. 100, 33098 Paderborn, gudrun-oevel@uni-paderborn.de

doi:10.18420/in2017_174

Folien zu arbeiten und Seminartexte online als PDFs bereitzustellen, müssen auch komplexere, qualitativ höherwertige Methoden im Bereich digitaler Medien in der Breite ankommen. Es zeigt sich in der Analyse von innovativen Lehrkonzepten, dass Übergänge zwischen Lehrinnovationen und einem regulären Einsatz von E-Learning-Elementen fließend sind und sich damit der Einsatz dieser Elemente bereits zu einem gewissen Grad normalisiert. Was bedeutet dies für die Strategieentwicklung von Hochschulen in Bezug auf Digitalisierung? Was bedeutet es für die organisatorische und infrastrukturelle Ausgestaltung der Digitalisierungsstrategien? Welche Maßnahmen müssen an welcher Stelle implementiert werden?

Ein Innovations- und Changemanagement an Hochschulen muss nach unseren Ergebnissen nicht nur die Leuchttürme und profilbildenden Projekte in den Blick nehmen und deren institutionelle Verankerung sicherstellen, sondern auch die Diffusionsprozesse betrachten, durch die digitale Lehre sich in der Hochschule verbreiten kann. Dies wiederum, so unsere These, fördert die nachhaltige Verankerung neuartiger Methoden und Werkzeuge. Es gilt dabei Maßnahmen zu entwickeln, die als Elemente einer sozio-technischen Infrastruktur Wissen über digitale Medien verbreiten und u. a. Lehrende systematisch aktivieren, E-Learning-Elemente in ihrer Lehre auszutesten und zu verankern. Dazu können Zielvorgaben und direkte Verbindlichkeiten ihren Teil leisten. Wichtig erscheint es aber auch, Anreizsysteme ‚von unten' zu entwickeln und die ‚alltägliche' digitale Lehre an der Hochschule mit Hilfe dieser sozio-technischen Infrastruktur zu fördern und sichtbar zu machen.

2 Innovationsmanagement und Diffusion

In Bezug auf die Entwicklung von Digitalisierungsstrategien für den Bereich Lehre legen Barbara Getto und Michael Kerres den Fokus bei der Beschreibung der Akteurskonstellation auf das „Zusammenspiel zwischen [...] (landes-)politischen Verantwortlichen, Hochschulleitungen und Lehrenden" [GK17]. Dort geht es vor allem um die Frage nach der Profilierung durch Digitalisierung, sei es auf der Ebene des Landes, der Hochschule oder des einzelnen Lehrstuhls. In dem vorliegenden Artikel fokussieren wir mit den beschriebenen Maßnahmen auf die Aktivierung der Lehrenden, da Profilierung häufig über Innovationen und Leuchtturmprojekte betrieben wird, die von den Lehrenden ‚von unten' initiiert werden. Sollen diese Leuchtturmprojekte längerfristig wirken und nicht nur auf der Ebene des einzelnen Lehrstuhls verbleiben, müssen hierbei entsprechende Maßnahmen von Seiten der Hochschule entwickelt und angeboten werden [BO16].

An der Universität Paderborn wurde dazu ein Innovationsmanagement entwickelt, das sich speziell an den Bedürfnissen der Hochschule ausrichtet, sowie eine sozio-technische Infrastruktur konzipiert, die Top-Down- und Bottom-Up-Strukturen miteinander verbindet. Die Ergebnisse wurden in einer Digitalisierungsstrategie gebündelt. Diese beinhaltet insbesondere auch Maßnahmen, um erfolgreiche Projekte zu verstetigen.

Bei der Analyse der Digitalisierungsprojekte und deren Verankerungen in den Regelbetrieb, etwa durch Blended-Learning-Ansätze, wurde jedoch auch deutlich, dass für eine erfolgreiche Implementierung digitaler Lehre nicht nur die Innovatoren wichtig sind, sondern auch diejenigen Akteure, die Ideen und Konzepte aus den Leuchtturmprojekten für ihre eigene Lehre aufnehmen und ggf. weiterentwickeln. Der Kategorisierung von Getto und Kerres folgend spielen hier insbesondere auch Modernisierungsziele eine wichtige Rolle bei der Diffusion von digitaler Lehre [GK17]. Eine hochschulweite Digitalisierungsstrategie hat dementsprechend auch die Promotoren von Innovationen in den Blick zu nehmen und damit die Diffusionsprozesse, durch die sich Innovationen und Methoden digitaler Lehre an Hochschulen ausbreiten, mit geeigneten Maßnahmen zu unterstützen.

So betont bereits Ute Schädler 1999 die Bedeutung von Diffusionsprozessen für ein Innovationsmanagement an Hochschulen. Hierbei ist das Maß der Verbreitung bzw. Diffusion von Innovationen ‚von unten' an das professionelle Interesse einzelner Akteure sowie an die Zusammenarbeit verschiedener Akteure geknüpft [Sc99]. Schädler bezieht sich auf die Theorie der Diffusion des Soziologen Everett M. Rogers, der sich mit der Verbreitung von Methoden und Innovationen in sozialen Räumen beschäftigt hat. Rogers unterscheidet hierbei zwischen unterschiedlichen Akteursgruppen, die Innovationen in unterschiedlicher Geschwindigkeit annehmen. Diese Eigenschaft bezeichnet er als „Originalität" bzw. *innovativeness*. „Innovativeness is the degree to which an individual or other unit of adoption is relatively earlier in adopting new ideas than other members of a social system. Five adopter categories, or classifications of the members of a social system on the basis on their innovativeness, are: (1) innovators, (2) early adopters, (3) early majority, (4) late majority, and (5) laggards. This categorization is based on the percentage of individuals (or organizations) under each portion of the normal curve, marked off by standard deviations from the mean." [Ro02] Abbildung 1 zeigt die fünf Gruppen in der von Rogers angenommen Verteilung.

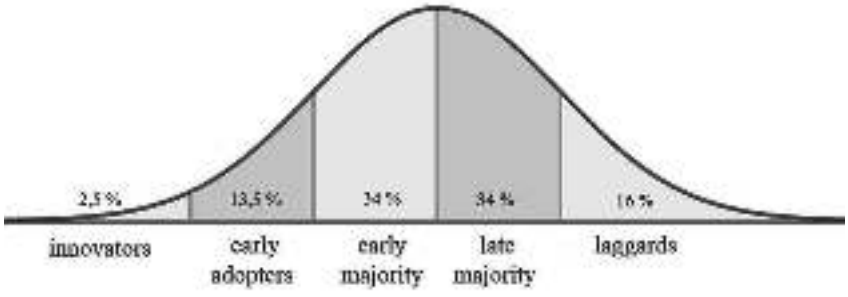


Abb. 1: Verteilung der Adaptionsgruppen nach Rogers

Eine besondere Rolle nimmt die Gruppe der *early adopters* ein, die Rogers als Meinungsführer*innen identifiziert: „Potential adopters look to early adopters for advice and information about an innovation" [Ro02]. So sind eben nicht die Innovatoren, also

diejenigen, die eine Innovation oder einen Leuchtturm in ein soziales System einbringen, die Vorbilder für die Mehrheit der potentiellen Anwender und Anwenderinnen, hier die Lehrenden. Vielmehr sind insbesondere die *early adopters* wichtig, um den Diffusionsprozess zu beschleunigen.

Wichtig für die Diffusion von Innovationen ist zudem der individuelle Entscheidungsprozess. Dies beschreibt Rogers entlang eines Adaptionsprozesses, der aus den fünf Stufen Wissen, Überzeugung, Entscheidung, Umsetzung und Bestätigung besteht.

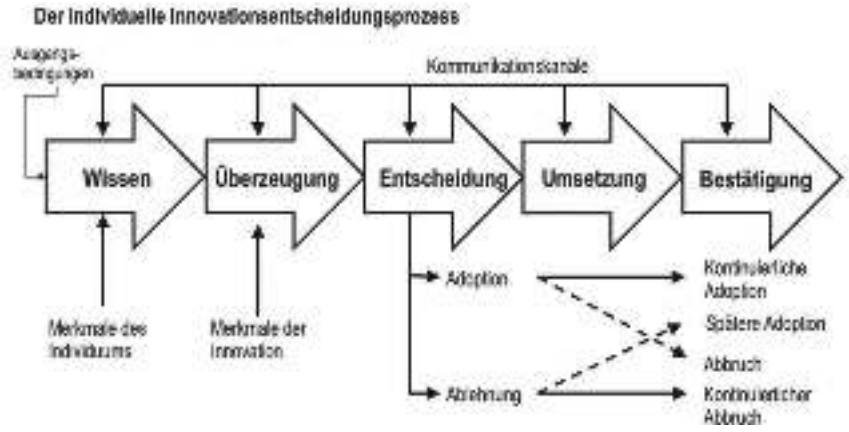


Abb. 2: Der individuelle Innovationsentscheidungsprozess [Sc07]

Abbildung 2 verdeutlicht, dass insbesondere das Wissen eine wichtige Dimension im Diffusionsprozess ist. So identifiziert beispielsweise Schönwald in Bezug auf das Changemanagement das Nicht-Wissen als einen der Gründe für individuelle Widerstände gegenüber Changeprozessen und Innovationen [Sc07]. Innovationen müssen so gut und so breit wie möglich innerhalb eines sozialen Systems, in diesem Fall innerhalb der Hochschule, kommuniziert werden. Auch hier spielen die *early adopters* sowie Maßnahmen auf zentraler Ebene eine wichtige Rolle. Im nächsten Schritt muss ein Individuum, nachdem es von der Innovation erfahren hat, von den Vorteilen einer Innovation überzeugt werden. So beschreibt auch Rogers die Adaptionsrate einer innovativen Idee durch bestimmte Eigenschaften: „Innovations that are perceived by individuals as having greater relative advantage, compatibility, trialability, observability, and less complexity will be adopted more rapidly than other innovations“ [Ro02].

Dennoch ist es nicht nur das fehlende Wissen, das dazu führt, dass eine Innovation sich nicht verbreitet. Weitere wichtige Gründe für individuelle Widerstände gegenüber Innovationen (bzw. Changeprozessen) sind die Dimensionen Nicht-Können und Nicht-Wollen. Diesen Gründen kann wiederum mit Maßnahmen zur Kompetenzentwicklung sowie mit der Gestaltung von Anreizen begegnet werden. Als nicht-monetäre Anreize lassen sich beispielsweise Reputation, Freiheit und Zeitallokation benennen [Sc07].

Dies belegt, warum die persönliche Überzeugung immer noch ein wichtiger Punkt bei der Verbreitung von Innovationen auch im Bereich der digitalen Lehre ist. Um digitale Lehre zu verbreiten und damit nachhaltig zu verankern, ist es also notwendig, jeden einzelnen Dozenten bzw. jede einzelne Dozentin von den Vorteilen digitaler Lehre zu überzeugen. Zur Realisierung werden auf der einen Seite Anreize geschaffen, digitale Lehre umzusetzen. Auf der anderen Seite werden zusammen mit *early adopters* als Fachpromotoren Hemmschwellen abgebaut und so Wissen über den Einsatz digitaler Lehre gezielt weitergegeben.

Dies verdeutlicht, dass Unterstützungsmaßnahmen nicht auf einer technischen Ebene verbleiben dürfen, sondern insbesondere auch soziale Aspekte umfassen müssen. Technik und soziale Interaktion sind jedoch nicht voneinander zu trennen, sondern erscheinen gerade im Bereich der Digitalisierung als ‚hybrides System' aus technischen wie menschlichen Komponenten [Ib10]. Daher verstehen wir die im Folgenden vorgestellten Maßnahmen als Teil einer sozio-technischen Infrastruktur, wobei der Fokus in diesem Artikel auf den sozialen Aspekten dieser Infrastruktur liegen soll.

3 Strategie und Organisation

E-Learning steht an der Universität Paderborn nicht nur für die Unterstützung von Bildung, Lehre und Lernen mit digitalen Werkzeugen, sondern im Sinne eines „Enhanced Learning" für eine sich permanent weiterentwickelnde Kultur für innovative Lehr- und Lernszenarien. Im Mittelpunkt steht das Leitbild Lehre mit dem Ziel, „selbstbewusste, mündige und aufgeklärte Gesellschaftsmitglieder zu entwickeln, die in der Lage sind, sich in modernen Informationsgesellschaften kompetent und eigenständig, selbst- und verantwortungsbewusst zu positionieren".

Als Präsenzuniversität in der Tradition der Einheit von Forschung und Lehre setzt die Universität Paderborn den Schwerpunkt auf Blended-Learning-Konzepte mit ergänzenden Online-Kursen und einen Mix aus didaktischen Szenarien zur Unterstützung forschungsorientierter Lehre unter der Rahmenbedingung von Heterogenität.

Um die permanente Weiterentwicklung der Organisation und ihrer Angehörigen zu unterstützen, müssen klassische Innovationszyklen iterativ durchlaufen werden. Es hat sich gezeigt, dass es für eine nachhaltige Entwicklung essentiell ist, die repräsentative Gremien- und Vertreterebene systematisch mit der inhaltlichen Ebene der Gestalter und Nutzer universitärer Lehre (Lehrende, Studierende und Mitarbeitende in Administration und Technik) zu verknüpfen. Auf der strategischen Ebene wurde daher ein Strategiekreis E-Learning geschaffen, der das Präsidium in strategischen Fragestellungen berät und deren Mitglieder aktive Innovatoren sind. Um die *early adopters* zu integrieren und die *early majority* zu erreichen gibt es die im Weiteren beschriebenen niedrigschwelligen informellen Angebote und erste infrastrukturelle Unterstützungsmechanismen. Der Übergang von der *early majority* zu der *late majority* wird durch abgestimmte

hochschulweite Zielvereinbarungen im Bereich E-Learning unter klarer Einbeziehung der Gremienstrukturen erreicht und mit hochschulweiten Infrastrukturangeboten in der Fläche unterstützt. Die letzten Personen schließlich werden durch Richtlinien und Sanktionen integriert oder ignoriert. Es ist klar, dass diese Zyklen jeweils pro Maßnahme durchlaufen werden müssen. Während bspw. das Campus Management System heute klar verbindlich und einheitlich geregelt ist und die E-Learning-Plattform für über 60 Prozent der Lehrveranstaltungen genutzt wird, werden E-Assessments derzeit erst von der Gruppe der *early adopters* genutzt.

4 Elemente einer sozio-technischen Infrastruktur

4.1 Weiterbildungsmöglichkeiten: lernPause

Die lernPause ist ein Format, das es in diversen Formen an verschiedenen Hochschulen bspw. unter den Titeln ‚Didaktik Lunch' (TU Darmstadt), ‚Lunch & Learn' (ZHAW) und ‚Lunch für gute Lehre' (TU Berlin) gibt, an der Universität Paderborn jedoch dezidiert mit dem Fokus E-Learning ausgerichtet ist, wie das auch an der Europauniversität mit dem Titel ‚Meet&Eat - Digitale Appetithäppchen zur analogen Mittagspause' der Fall ist.[4] Die Teilnehmer*innen nutzen ihre gemeinsame Pause zum Essen und zur Weiterbildung. Vorläufer des Formates sind die Journal Clubs, die schon seit über 100 Jahren existieren und das Vorstellen und Diskutieren eines Textes beinhalten [Gr08]. Bei der Umsetzung an der Universität Paderborn startet die lernPause zumeist mit einem Impulsvortrag, in dem ein Überblick zu einem aktuellen Thema gegeben und über das im Anschluss diskutiert wird. Die lernPause möchte somit zu einem informellen und konstruktiven Austausch zum Thema „E-Learning und Lehre" anregen. Im Rahmen lockerer Gespräche können Expert*innen, Akteure und Interessierte Neuigkeiten austauschen und über ihre Erfahrungen in den Bereichen E-Learning, Wissensmanagement und Didaktik diskutieren. Die Runden bieten ebenso Raum zum Vorstellen neuer Angebote, wie dazu, Ideen, Wünsche und Anregungen der Nutzer*innen zur Verbesserung der Lehre zu sammeln. Das Format der lernPause ermöglicht dabei eine niederschwellige Fortbildungsmöglichkeit für Lehrende zum Thema E-Learning. Wie gut das funktioniert, zeigt die Auswertung der Besucher der letzten vier Semester der lernPause. So besuchen im Schnitt 14 Lehrende die lernPause, um sich auszutauschen. Damit werden pro lernPause mehr Lehrende erreicht, als bei den hochschuldidaktischen Ganztagesworkshops, die in der Regel eine Deckelung der Teilnehmerzahl bei zwölf Teilnehmer*innen haben.

Diese Maßnahme fokussiert auf die für den Diffusionsprozess wichtige Kategorie des Wissens. Zugleich macht diese Maßnahme einen weiteren wichtigen Aspekt für den Entscheidungsprozess deutlich: die Verknüpfung von Innovatoren und Akteur*innen, die der Gruppe der *early adopters* zugerechnet werden können. Das Angebot der lernPause

[4] https://www.uni-paderborn.de/universitaet/bildungsinnovationen-hochschuldidaktik/e-learning/lernpause/

richtet sich aber auch an die *early majority*, eine Gruppe, die dadurch gekennzeichnet ist, dass ihr Innovationsentscheidungsprozess wesentlich länger dauert: „They follow with deliberate willingness in adopting innovations but seldom lead“ [Ro03]. Erfahrungsberichte von und Austausch mit den *early adopters* ermöglichen hierbei einen Abbau von Hemmschwellen und fördern die Entscheidung zur Umsetzung.

4.2 „E-Learning durch die Hintertür“: Das E-Tutorenprogramm

E-Tutorenprogramme wurden in den vergangenen Jahren an zahlreichen deutschen Universitäten eingeführt (vgl. Abbildung 3).[5] Diese Programme haben dabei sehr unterschiedliche Ausrichtungen und Schwerpunkte.



Abb. 3: Hochschulstandorte, die E-Tutoren-Programme anbieten oder angeboten haben

[5] Je nach Finanzierung wurden einige der Programme jedoch nach Ablauf der Förderung wieder eingestellt.

So unterscheiden de Witt u. a. zwischen vier verschiedenen Betreuungsqualitäten (technische, organisatorische, personen-/gruppenbezogene und fachbezogene Betreuung) [WCM07]. Dies spiegelt sich zum Teil in den verschiedenen Programmen wider, da der Begriff ‚E-Tutor' für Programme mit sehr unterschiedlichen Betreuungsqualitäten verwendet wird, aber zum Teil auch andere Begriffe wie ‚E-Berater', ‚E-SHK' oder ‚E-Student' genutzt werden.

An der Universität Paderborn ermöglicht das Programm Studierenden aller Fakultäten, sich während der vorlesungsfreien Zeit in einem vierwöchigen Blended-Learning-Kurs zum E-Tutor bzw. zur E-Tutorin ausbilden zu lassen. Die in der Ausbildung erworbenen Kenntnisse werden im Anschluss in einem Praxisprojekt bei einem Dozenten bzw. einer Dozentin umgesetzt, so dass digitale Medien durch das Projekt verstärkt in der Universität eingesetzt werden. In der Zusammenarbeit entstehen die unterschiedlichsten Projekte mit digitalen Medien in der Lehre, von der Organisation der Lehre bis hin zu formativen Assessments [Ze16]. Durch den Einsatz der E-Tutor*innen zeigt sich eine deutliche Veränderung in der Lehre einzelner Dozenten und Dozentinnen, etwa wie E-Learning-Elemente in der Lehre eingebunden werden. Die Lehrenden profitieren dabei von den E-Tutor*innen, da diese viele Ideen zum Einsatz von digitalen Medien in der Lehre mitbringen und in der Schulung das notwendige technische Know-how zur Umsetzung erworben haben. Hemmschwellen und Vorurteile konnten abgebaut werden, vor allem aufgrund der Tatsache, dass die intensive Einarbeitung in das Thema sowie die technische Umsetzung durch die Studierenden erfolgen.

Die Evaluation des E-Tutorenprogrammes zeigt, dass durch dieses Programm im Vergleich zu anderen hochschuldidaktischen Angeboten ein hoher Anteil an Professor*innen und Junior–Professor*innen erreicht wird und dass die meisten teilnehmenden Lehrenden durch die Zusammenarbeit neue E-Learning-Impulse für ihre Lehre erhalten haben. So berichtet eine Professorin aus der Anglistik: „E-Tutoren sind eine wertvolle Hilfestellung. Entsprechend ihrer Kompetenzen bereichern sie den digitalen Bestand in der Lehre. Sie können wichtige Anstöße zur Umsetzung und Weiterentwicklung von traditionellen in digitale Formate geben. Vor allem: E-Tutoren helfen maßgeblich mit bei der Erstellung digitaler Lehrmaterialien!" Für viele Lehrende ist die Teilnahme am E-Tutoren-Projekt der Einstieg in den E-Learning-Bereich. So haben 23 Prozent der teilnehmenden E-Lehrenden im Vorfeld keinen E-Learning-Einsatz geplant und dies durch den Impuls eines E-Tutors ausprobiert.

Diese Maßnahme zielt ebenfalls darauf, das Wissen der Akteure über digitale Lehre zu vergrößern, um damit die Entscheidung für den Einsatz von Elementen digitaler Lehre zu erleichtern. Durch die Einbeziehung von Studierenden werden diese zu aktiven Partner*innen im System.

4.3 Sichtbarmachung von digitaler Lehre I: Einführung eines E-Learning-Labels

Zur besseren Sichtbarmachung von digitaler Lehre im Regelbetrieb wurde zum

Wintersemester 2016/17 ein E-Learning-Label an der Universität Paderborn eingeführt. Mit dem Label werden Veranstaltungen ausgezeichnet, die E-Learning als essentiellen Teil der Lehre und im hohen qualitativen Umfang einsetzen. Das Label dient damit auch zur Entwicklung von Qualitätsstandards sowie als Instrument der Qualitätssicherung und Qualitätsentwicklung, was Sonnberger am Beispiel der TU Darmstadt ausführlich aufzeigt [So08]. Sonnberger führt folgende Funktionen des Labels in Darmstadt auf:

- „Kennzeichnung von E-Learning Veranstaltungen
- Definition für E-Learning Veranstaltungen
- Grundlage für universitätsweite Qualitätssicherung im E-Learning
- Grundlage für individuelle Qualitätsentwicklung im E-Learning
- Auszeichnung als Motivationsfaktor für Lehrende
- Sicherung der didaktischen Qualität“

Wichtig ist hierbei, dass das Label auf die didaktische Einbindung digitaler Elemente fokussiert und keine Vorgaben für die Verwendung spezieller Methoden und Tools macht [So08].

Die Beantragung des E-Learning-Labels an der Universität Paderborn ist freiwillig und die Vergabe erfolgt mit Hilfe eines Kriterienkatalogs über ein Punktesystem. Dazu müssen die Lehrenden für ihre Veranstaltungen einen Fragebogen online ausfüllen.[6] Wie Sonnberger gezeigt hat, ist hierbei eine Überprüfung der Richtigkeit der Angaben nicht notwendig. Die Gewichtung der Kategorien des Kriterienkatalogs schützt zudem vor der Auszeichnung von Veranstaltungen, die E-Learning-Elemente zwar nutzen, diese aber nicht sinnvoll didaktisch einbinden.[7] Aktuell wird noch ein einstufiges Label vergeben, für die Zukunft ist ein zweistufiges Label geplant, um stärkere Anreize zu geben sich intensiver mit den didaktischen Möglichkeiten von E-Learning auseinanderzusetzten und diese in den eigenen Lehrveranstaltungen zu implementieren.

Zur Einführung des Labels wurde darüber hinaus im Wintersemester 2016/17 ein E-Learning-Preis für diejenige Veranstaltung vergeben, welche die höchste Punktzahl im Fragebogen erreichte. 2017 konnte der nicht dotierte Preis beim Paderborner Tag der Lehre gleich an zwei punktgleiche Veranstaltungen vergeben werden. Zugleich wurden die Veranstaltungen mit den zehn höchsten Punktzahlen prominent beim Tag der Lehre

[6] Die mit dem Label ausgezeichneten Veranstaltungen sind auf den Seiten der Stabstelle für Bildungsinnovationen und Hochschuldidaktik aufgelistet. https://www.uni-paderborn.de/universitaet/bildungsinnovationen-hochschuldidaktik/e-learning/e-label/gelabelte-veranstaltungen/.

[7] Der Fragebogen umfasst die Kategorien Transparenz und Orientierung, Kommunikationsmöglichkeiten und Betreuung, Didaktische Umsetzung, Interaktion, Feedback und Evaluation. Jedoch hat sich gezeigt, dass nicht wenige Lehrende Schwierigkeiten haben, das Label vor Semesterbeginn auszufüllen, da zu diesem Zeitpunkt Inhalte und Methoden noch nicht immer feststehen und auch während des Semesters Verschiebungen unterliegen. Daher eignet sich das Label nur bedingt dazu, etwa durch die Darstellung des Labels im Vorlesungsverzeichnis, Studierenden die Wahl von Veranstaltungen zu erleichtern.

als Good Practices vorgestellt. Bislang wurden für die ersten beiden Semester 49 Label beantragt und 45 Label erteilt, was wir im Vergleich mit den niedrigeren Zahlen aus Darmstadt als Erfolg werten.

Ziel dieser Maßnahme ist die Erhöhung der Sichtbarkeit von Veranstaltungen, die Elemente digitaler Lehre einsetzen bzw. die mit Hilfe dieser Elemente neu gestaltet worden sind. Lehrende sollen so angeregt und inspiriert werden, E-Learning sinnvoll und didaktisch fundiert in ihre Veranstaltung zu integrieren. Hierbei hat sich gezeigt, dass die ausgezeichneten Veranstaltungen oftmals in ihren Fächern eine große Resonanz bei anderen Lehrenden finden. Diese Maßnahme dient insbesondere als Anreiz für die Adaption digitaler Lehre und fördert die Reputation digitaler Lehre. Sie richtet sich an Vertreter*innen der *early adopters* und der *early majority.*

4.4 Sichtbarmachung von digitaler Lehre II: Systematische Präsentation von Lehrprojekten und Good Practices

Im Rahmen der Digitalisierungsstrategie wurde beschlossen, Digitalisierungsprojekte und Good Practices im Bereich digitaler Lehre offensiv zu dokumentieren,[8] um den Ist-Stand der Digitalisierung an der Universität Paderborn nach innen und nach außen sichtbar zu machen. Diese öffentliche ‚Good-Practice-Datenbank' mit derzeit ca. 20 Projekten wird von zentraler Stelle gepflegt und soll Lehrenden Anregungen geben, welche E-Learning-Elemente sie in ihren Lehrveranstaltungen einsetzen können. Zudem können sie darüber hinaus schnell Ansprechpartner ermitteln, an die sie sich mit Fragen wenden können, und haben die Möglichkeit, von den gemachten Erfahrungen zu profitieren. Für die Lehrenden, deren Projekten als Good Practice genannt werden, ist dies eine Möglichkeit, ihre Expertise im Bereich digitaler Lehre zu zeigen. Im weiteren Verlauf soll die Datenbank mit besonderen Projekten aus dem E-Tutorenprogramm und Konzepten, die mit dem E-Learning-Label ausgezeichnet wurden, erweitert werden.

Diese Maßnahme dient damit einerseits der Verbreitung von Wissen über digitale Lehre und ihrer Anwendung, fördert aber zugleich andererseits die Reputation digitaler Lehre und derer Akteure. Sie richtet sich an die Gruppe der *early adopters* wie an die der *early majority.*

5 Erfahrungen in der Praxis

Die vorgestellten Maßnahmen, die in den letzten Jahren sukzessive an der Universität Paderborn eingeführt worden sind, zeigen eine starke Wirkung bei der Verbreitung digitaler Lehre in den Regelbetrieb, was auch am Ineinandergreifen der Maßnahmen deutlich wird. So haben sich insbesondere die lernPause und das E-Tutorenprogramm nach der ersten Digitalisierungsstrategie 2008 als wirksame Maßnahmen

[8] Die Auflistung findet sich unter http://www.uni-paderborn.de/lehre/lehrinnovationen/lehrprojekte/.

herauskristallisiert. Dies macht wiederum deutlich, wie sehr soziale Interaktion mit anderen Lehrenden und auch Studierenden für die Diffusionsprozesse von Bedeutung ist, während bloße (digitale) Informationsangebote nicht wahrgenommen werden. Die Auswertung der Programme nach Teilnehmern zeigt zudem eine starke Korrelation zwischen den Elementen sowie eine Entwicklungsstruktur. Dabei dient das E-Tutorenprogramm als Einstieg für die Entwicklung eigener E-Learning-Konzepte bis hin zu eigenen E-Learning-Projekten, die wiederum in der lernPause anderen Lehrenden vorgestellt und durch weitere Fördermaßnahmen innerhalb und außerhalb der Universität im Wettbewerb verbreitert werden. Das macht deutlich, dass wenn Lehrende einmal von digitaler Lehre überzeugt worden sind, E-Learning nicht nur in den Regelbetrieb übergeht, sondern dass wiederum neue innovative Impulse und Leuchttürme entstehen.

Zur Förderung von Leuchtturmprojekten gibt es für interessierte Lehrende schon lange die Möglichkeit, sich auf den Innovationspreis Lehre zu bewerben, der innovative Lernformate mit einer Anschubfinanzierung fördert. Durch die Förderung mit dem Innovationspreis konnte z.B. ein webbasiertes Live-Feedback-System für die Lehre mit Namen ‚PINGO – Peer Instruction for very large groups' – realisiert werden. Dieses System wird mittlerweile weit über die Universität Paderborn hinaus häufig genutzt, wie die Nutzerzahlen von 13.000 Nutzern von mehr als 150 Hochschulen weltweit belegen.

6 Fazit

Nachhaltigkeit wird ein immer wichtigeres Thema in Bezug auf digitale Lehre und deren strategische Verankerung an Hochschulen. Dabei sollten sich strategische Entscheidungen in Bezug auf digitale Lehre, etwa in Bezug auf Fördermaßnahmen, Anreizsysteme und die Bereitstellung einer sozio-technischen Infrastruktur, an Hochschulen nicht nur an sogenannten Leuchtturmprojekten ausrichten. Wie in diesem Artikel gezeigt wurde, ist die Unterstützung von Verbreitungs- bzw. Diffusionsprozessen unabdingbar. Dazu wurde auf die Theorie des Soziologen Everett M. Rogers Bezug genommen, der die *early adopters* – und eben nicht die Innovatoren – als entscheidende Gruppe für die Verbreitung von Innovationen herausstellt.

Es wurden Maßnahmen vorgestellt und diskutiert, die als Elemente einer sozio-technischen Infrastruktur die Verbreitung und nachhaltige Verankerung digitaler Lehre im Regelbetrieb an Hochschulen unterstützen. Als Maßnahmen innerhalb der Hochschule zielen sie auf die Aktivierung der Lehrenden. Die vorgestellten Maßnahmen fokussieren einerseits auf die Vermittlung von Wissen zum Einsatz digitaler Lehre sowie den Abbau von Hemmschwellen mit Hilfe studentischer Expert*innen. Andererseits werden durch diese Maßnahmen Anreizstrukturen geschaffen, die die Reputation von E-Learning steigern, indem insbesondere die *early adopters* mit ihren Ideen und Konzepten öffentlichkeitswirksam vorgestellt werden, was wiederum die Gruppe der *early majority* aktiviert.

Für die Umsetzung einer Digitalisierungsstrategie ist es daher wichtig, die passenden

Maßnahmen zum richtigen Zeitpunkt für die entsprechende Zielgruppe zu adressieren. So kann die Digitalisierungsstrategie einerseits die Weiterentwicklung der Personen als auch der Institution an sich fokussieren.

Literaturverzeichnis

[Bi16] Bischof, L. et al.: Zur nachhaltigen Implementierung von Lerninnovationen mit digitalen Medien. Edition Stifterverband, Essen, 2016.

[BO16] Budde, J., Oevel, G.: Innovationsmanagement an Hochschulen: Maßnahmen zur Unterstützung der Digitalisierung von Studium und Lehre. In (Heinrich C. Mayr, Martin Pinzger) INFORMATIK 2016. Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn, S. 947-959, 2016.

[GK17] Getto, B., Kerres, M.: Akteurinnen/Akteure der Digitalisierung im Hochschulsystem: Modernisierung oder Profilierung? In ZFHE 12/1, S. 123-142, 2017.

[Gr08] Grimmer-Somers, K. et al.: How to run an effective Journal Club: a systematic review. In: Journal of Evaluation in Clinical Practice 14/5, S. 888-897, 2008.

[HS12] Handke, J.; Schäfer A.: E-Learning, E-Teaching und E-Assessment in der Hochschullehre: eine Anleitung. Oldenbourg, München, 2012.

[Ib10] Iberer, U.: Bildungsmanagement von Blended Learning. Integrierte Lernkonzepte steuern und gestalten. Tectum, Marburg, 2010.

[Ro02] Rogers, E.: Diffusion of preventive innovations. In: Addictive Behaviors 27, S. 989-993, 2002.

[Ro03] Rogers, E.: Diffusion of Innovations. 5th Edition. Free Press, New York et al., 2003.

[Sc99] Schädler, U.: Das Innovationspotential der Hochschulen. Chancen und Risiken der Umsetzung von Innovationen in der Lehre an deutschen Universitäten. Lang, Frankfurt am Main, 1999.

[Sc07] Schönwald, I.: Change-Management in Hochschulen: die Gestaltung soziokultureller Veränderungsprozesse zur Integration von E-Learning in die Hochschullehre. Eul, Lohmar, 2007.

[So08] Sonnberger, J.: Das ‚E-Learning-Label' an der TU Darmstadt. Entwicklung, Einführung und Auswertung eines Modells zur Qualitätssicherung und Qualitätsentwicklung von E-Learning-Veranstaltungen. Logos, Berlin, 2008.

[WCM07] de Witt, C.; Czerwionka, T.; Men, S.: Mentorielle Betreuung im Web – Konzepte und Perspektiven für das Fernstudium. In: MedienPädagogik: Zeitschrift für Theorie und Praxis der Medienbildung, S. 1-23, 2007.

[Ze16]: Zenker, T.: Studentische eTutorInnen qualifizieren. Problemfeld Studierende-Lehrende-Kommunikation oder: „Wenn das Küken mehr weiß als das Huhn". In (Sandra Aßmann, Patrick Bettinger et al.): Lern- und Bildungsprozesse gestalten. Junges Forum Medien und Hochschulentwicklung (JFMH13) 70, S. 193-203, 2016.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 1757

Hochschulentwicklung im Kontext der Digitalisierung - Bestandsaufnahme, Perspektiven, Thesen

Markus von der Heyde[1], Gunnar Auth [2], Andreas Hartman[3] und Christian Erfurth[4]

Abstract: Digitalisierung oder Digitale Transformation sind primär von der Privatwirtschaft geprägte Begriffe, mit denen die zunehmende Verlagerung unternehmerischer Wertschöpfung aus der physischen Welt in eine digitale, auf Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) basierende Welt bezeichnet wird. Die Digitalisierung beschränkt sich jedoch nicht auf das Wirtschaftsleben, sondern umfasst ebenso Aktivitäten des öffentlichen und privaten Bereichs, mithin die ganze Gesellschaft. Somit sind auch die Hochschulen betroffen, wodurch eine noch junge Diskussion über Sinn und Zweck der Digitalisierung von Hochschulen sowie die Frage der "richtigen" Ausgestaltung dieses Prozesses entstanden ist. Der Beitrag nimmt dazu eine kritische Bestandsaufnahme vor, analysiert die Implikationen der Digitalisierung für Hochschulen aus IT-strategischen Perspektiven und formuliert eine Agenda aus Thesen und offenen Fragen, die den CIOs und Leitungen der IT-Service-Einrichtungen an Hochschulen zur Versachlichung der Diskussion mit ihren Hochschulleitungen helfen soll.

Keywords: Hochschule, Hochschulentwicklung, Digitalisierung, CIO, IT-Versorgung, Enterprise-Architecture, IT-Service-Management, Schnittstellen.

1 Einleitung

Die deutschen Hochschulen sind seit mehreren Jahrzehnten von den Empfehlungen der DFG, speziell der Kommission für Rechenanlagen (KfR) geprägt [DFG01, DFG16]. Diese Empfehlungen gaben und geben der IT-Versorgung eine Richtung, welche mehr Stabilität, Professionalität und Qualität der IT-Services verspricht. Die Übertragung von Konzepten der Steuerung (IT-Governance), der Informationssicherheit (nach BSI) sowie der Service-Orientierung (gemäß ITIL o. ä.) hat in den letzten 10-15 Jahren die in den 90er Jahren eingetretene Dezentralisierung der IT-Landschaft langsam wieder rückgängig gemacht. Die Anwendbarkeit der oftmals aus der Wirtschaft stammenden Konzepte wird dabei kritisch hinterfragt. Dennoch steht außer Frage, dass „mehr Ordnung" die Grundlage einer IT-Versorgungsstrategie ist, bei der mit sinkenden Budgets mehr Leistung erreicht werden muss.

[1] vdH-IT, Hansastraße 8, 59425 Unna, info@vdh-it.de
[2] Hochschule für Telekommunikation Leipzig, Institut für Wirtschaftsinformatik, Gustav-Freytag-Str. 43-45, 04277 Leipzig, auth@hft-leipzig.de
[3] Hochschule für Telekommunikation Leipzig, Praktische Informatik/Software Engineering, Gustav-Freytag-Str. 43-45, 04277 Leipzig, hartmann@hft-leipzig.de
[4] Ernst-Abbe-Hochschule Jena, CIO und Fachbereich Wirtschaftsingenieurwesen, Carl-Zeiss-Promenade 2, 07745 Jena, Christian.Erfurth@eah-jena.de

doi:10.18420/in2017_175

Die nun global diskutierte Digitalisierung wird – abermals getrieben von der Wirtschaft – in die Hochschulen hineingetragen. Die in der Wirtschaft gefürchteten disruptiven Änderungen der Geschäftsmodelle stellen dort den David über Goliath: Kleine Firmen mit einer geringen Anzahl von Mitarbeitern und mit einem rein auf digitalem Informationsfluss basierenden Service machen den großen Platzhirschen das Leben schwer. Plattformen wie Uber oder Airbnb sind gemessen an der Anzahl der Nutzer sehr erfolgreich und nehmen schnell signifikante Marktanteile ein. In Hochschulen wird ebenfalls von Digitalisierung gesprochen – derzeit allerdings primär im Bereich der Lehre. Sollten wir uns hier nicht an die Welle der E-Learning Aktivitäten erinnern, wo wir doch gelernt haben, dass ein beträchtlicher Anteil des Lernens in Gruppen passiert, die sich vor Ort treffen und gemeinsam Bildungsinhalte erarbeiten? Der Hype um *Massive-Open-Online-Courses* (MOOCs) ist kaum vorbei und doch sprechen viele Präsidien von der nun kommenden Digitalisierung der Hochschulen.

Der vorliegende Beitrag rekapituliert zunächst den Bedeutungswandel des Begriffs Digitalisierung, der in den letzten Jahren in der Wirtschaft stattfand. Darauf aufbauend wird die Bedeutung der diversen Begriffsvarianten im Hochschulkontext untersucht und mit einer kritischen Bestandsaufnahme von aktuellen Initiativen im Bereich der Hochschuldigitalisierung verbunden. Aus einer strategischen Grundsicht werden anschließend die Implikationen der Digitalisierung für Hochschulen durch Betrachtung einzelner IT-strategischer Perspektiven analysiert. Abschließend wird eine Agenda aus Thesen und offenen Fragen formuliert, die den CIOs und Leitungen der IT-Service-Einrichtungen an Hochschulen zur Versachlichung der Diskussion mit ihren Hochschulleitungen helfen soll. Die einrichtungsspezifischen Antworten auf diese Fragen tragen dazu bei, die Digitalisierung als das zu sehen, was sie ist: ein Anlass, vorhandene Strukturen auf ihre Flexibilität zu prüfen und nach neuen Lösungen zu suchen, die in die Kultur von Hochschulen passen, diese aufgreifen und ggf. innovativ verändern.

2 Neuinterpretation des Begriffs Digitalisierung in der Wirtschaft

In seiner ursprünglichen Bedeutung stammt der Begriff *Digitalisierung* aus der Informationstechnik und bezeichnet die Umwandlung von analog gespeicherten Informationen in digitale als Voraussetzung für die digitale Informationsübertragung und -verarbeitung (bspw. Umwandlung von analogen Papierfotos in digitale Bilddateien durch Scannen) [He13]. Seit etwa 2013 hat eine breite Diskussion eingesetzt, bei der Digitalisierung weit umfassender verstanden wird [KHV+13]. Über die ursprünglich rein datenbezogene Bedeutung des Begriffs hinaus wird nun unter Digitalisierung ein gesamtgesellschaftlicher Transformationsprozess verstanden, in dessen Kern der Einsatz einer immer schneller voranschreitenden Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) Arbeits- und Lebensprozesse in allen Bereichen der Gesellschaft grundlegend verändert [UA17, He13].

Der Bedeutungswandel lässt sich auch an der Begriffsentwicklung nachvollziehen, deren Ausgangspunkt in Überlegungen zur wirtschaftlichen Nutzung von IKT liegt: Während Mitte der 1990er Jahre noch von *IT-basierter Business-Transformation* [Ve94] gesprochen wurde, war Anfang der 2000er Jahre bereits von *Digital-Transformation* [ACY03] die Rede, bis sich schließlich der heute gebräuchliche Begriff „Digitalisierung" etablierte, der jedoch den Ausdruck *Digitale Transformation* nicht verdrängt hat, sondern häufig synonym benutzt wird [He13]. Von der bereits zuvor bekannten Anwendung von IKT zur Unterstützung und Verbesserung von Prozessen und Produkten unterscheidet sich die neue Digitalisierung durch die Radikalität ihrer Veränderungswirkung. Im wirtschaftlichen Bereich bedeutet dies die Entstehung völlig neuer Produkte, Services und Geschäftsmodelle, die in starke Konkurrenz zu klassischen Unternehmen treten bzw. diese völlig verdrängen [AAC17]. Aktuelle Beispiele sind die onlinebasierte Vermittlung von privaten Unterkünften des Anbieters Airbnb als Bedrohung der klassischen Hotelbranche oder der von Privatfahrern durchgeführte Personentransport des Anbieters Uber als Taxikonkurrenz. Das radikale Veränderungspotenzial der Digitalisierung betonen Begriffsvarianten wie *Digitale Revolution* [BM15] oder *Disruption* [SC10].

Aus Technologiesicht ist die Digitalisierung durch den bereits erwähnten rasanten Fortschritt in der IKT gekennzeichnet. Dabei waren es zunächst fünf Basistechnologien, die gemeinhin als Voraussetzungen und fortwährende Treiber der Digitalisierung genannt wurden [bspw. MCB+15, We15, Ab15]: Cloud-Computing, Big-Data, Mobile, Internet-of-Things und Social-Media. Zum Charakter von technologischen Innovationen gehört neben der anfänglichen Begeisterung und einer Übersteigerung der daran geknüpften Erwartungen auch der Eintritt in eine Normalisierungsphase, der mit dem Verlust des Neuheitsstatus verbunden ist. Die ursprüngliche Innovation wird zur bewährten Technik, die mehr oder weniger selbstverständlich eingesetzt wird (vgl. [SKS+10]). Ähnliches lässt sich schon heute bei den sog. Basistechnologien der Digitalisierung beobachten. Aktuell dominieren bereits neue (bzw. wiederentdeckte) Technologien die Diskussion über die Ausgestaltung der Digitalisierung, wie bspw. Blockchain, In-Memory-Computing, Virtuelle Realität oder Künstliche Intelligenz. Daher scheint es fraglich, den Begriff der Digitalisierung an bestimmte Technologien zu knüpfen. Vielmehr sind gerade die immer schnellere Entwicklung technischer Innovationen und deren nutzenstiftender Einsatz ein Merkmal erfolgreicher Digitalisierungsprozesse.

Neben technischen Innovationen werden häufig auch organisations- und managementbezogene Innovationen für den Erfolg der Digitalisierungsvorreiter wie Amazon, Google oder Netflix angeführt. Diese bestimmen ihrerseits die Fähigkeit zur Entwicklung und Nutzung technischer Innovationen. Ausgehend von Produktentwicklungsprozessen und Innovationsprozessen haben die o. g. Unternehmen Organisationsmodelle entwickelt, die sich einerseits durch Agilität und Innovationsstärke, andererseits durch Operational Excellence und Resilienz auszeichnen. Darüber hinaus gründet sich die aktuelle Diskussion um *Digital-Leadership* auf der Annahme, dass Führung und Entwicklung von Mitarbeitern mit den für die

Digitalisierung erforderlichen Fähigkeiten und Kompetenzen auch neue Führungsmodelle verlangt (vgl. bspw. [DT17]).

Schließlich sind im Zuge der Digitalisierung auch im Kern der Wertschöpfung, d.h. in der Produktion, neue Arbeitsmodelle entstanden, die auf der Einbeziehung von Privatpersonen beruhen und unter der Bezeichnung *Crowd-Sourcing* diskutiert werden [Sc11]. Auf der Basis digitaler Vernetzung vieler Umsatzteilhaber und unter Vermeidung zentral notwendiger technischer Produktionsanlagen entstand so die Grundlage vieler Startups, die in kürzester Zeit immense Marktanteile in klassischen Geschäftsfeldern erlangen konnten. Mehr oder weniger zentral organisierte Online-Plattformen geben Privatpersonen die Möglichkeit, scheinbar in ihrer Freizeit und nebenher Umsatz und Gewinn zu generieren. Die Arbeit wird dezentral im Heer der „Freiwilligen“ (der Crowd) erledigt, wobei die Vernetzung von Leistungsabnehmer und Leistungsgeber hochgradig standardisiert über die digitalen Plattformen abgewickelt wird. Für diese Leistung nimmt der Plattformbetreiber eine geringfügige Gebühr und verdient mit minimalem Ressourceneinsatz durch die hohe Anzahl der Vorgänge.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass der Begriff Digitalisierung bzw. Digitale Transformation in seiner neueren Bedeutung sich dadurch von früheren Begriffen im Zusammenhang mit Entwicklung und Nutzung von IKT unterscheidet, dass der Innovationsgedanke dominant in den Vordergrund tritt, die Bedeutung von Kosten, Zeit und Qualität damit in den Hintergrund (ohne jedoch zu verschwinden) und die dadurch hervorgerufenen Veränderungen in Form von radikalen Umwälzungen bestehender Zustände auftreten.

3 Bestandsaufnahme der Digitalisierung im Kontext Hochschulen

Ähnlich wie im Unternehmensbereich ist auch im Kontext der Hochschulen die aktuelle Diskussion über die Digitalisierung vor dem Hintergrund eines längeren Entwicklungsprozesses zu sehen. Der Einsatz von IKT als Werkzeug zur Unterstützung von Forschung, Lehre und Verwaltung hat dabei mehr oder weniger seit Anbeginn der elektronischen Rechtentechnik mit deren Entwicklung Schritt gehalten [He09]. Während in der Vergangenheit dieser Einsatz häufig in stark unterschiedlichem Maße abhängig von fächerspezifischen Forschungs- und Didaktikmethoden erfolgte sowie durch die Verfügbarkeit von Personal und Finanzmitteln bestimmt war, hat sich zuletzt unter der Bezeichnung *Integriertes Informationsmanagement* (IIM) ein prozess- und serviceorientiertes Verständnis des IKT-Einsatzes an Hochschulen etabliert, das eine strategische Ausrichtung sowie einen IT-Governance-Rahmen vorsieht [DFG16], [BB10]. In den Empfehlungen der DFG werden dazu notwendige IT-Bausteine benannt (siehe Tab. 1), die sich aus einer Aufgabensicht den Kernaufgaben Forschung und Lehre/Lernen sowie der dafür erforderlichen Verwaltung zuordnen lassen.

Kernaufgabe	Ausprägung im IIM	IT-Bausteine
Forschung	E-Science	- Forschungsinformationssysteme - Kooperationsplattformen - Virtuelle Labore
Lehre/Lernen	E-Learning	- Learning-Management-Systeme - Online-Prüfungssysteme
Verwaltung	E-Administration	- Campus- und Ressourcenmanagement - Identitätsmanagement

Tab. 1: IKT-Einsatz an Hochschulen vor der Digitalisierung (in Anlehnung an [DFG16])

Die Digitalisierung bzw. Digitale Transformation lässt sich nun auch im Hochschulkontext analog zum zuvor betrachteten Wirtschaftskontext als nächste Entwicklungsstufe für den Umgang mit IKT verstehen. In den Kernaufgaben der Hochschulen einschließlich Kunst und Kultur ist eine „Privatisierung der Prozesse“ in Anlehnung an Crowd-Sourcing zwar denkbar [HD15]. Digitale Bildung sich nun vorschnell als Facebook-Lerngruppe mit YouTube-Channel vorzustellen, greift aber zu kurz. Sicherlich ist nicht jedes private Kunstprojekt gleich eine ernsthafte Konkurrenz für die künstlerischen Fächer und deren Ausstellungsformate. Ebenfalls sind Großforschungsprojekte mit erheblichen Investitionen in Technologien und Anlagen im privaten Umfeld nicht kurzfristig zu erwarten.

Die disruptiven Veränderungen, die in der Wirtschaft Schwung in alte Strukturen bringen, müssen in Hochschulen in anderer Form erwartet werden. Geht es nicht vielmehr um die digitale Einbindung der mündigen Anwender in Strukturen, welche Bildung, Kultur und Forschung ermöglichen? Eine auf den Hochschulkontext zielende Begriffsrecherche zeigt schnell, dass sich noch kein einheitliches Begriffsverständnis herausgebildet hat, sondern sich die vielseitigen Aspekte der Digitalisierung auch in einer bunten Begriffsvielfalt widerspiegeln.

Vergleichsweise dominant in der aktuellen Diskussion ist der Begriff *Digitale Bildung*, bspw. bei den Aktivitäten und Publikationen (etwa [HD15]) des von Stifterverband, Hochschulrektorenkonferenz und Centrum für Hochschulentwicklung 2014 gegründeten und durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderte *Hochschulforum Digitalisierung* (HFD). Auch die im Umfeld des Nationalen IT-Gipfels angesiedelte Plattform „Digitalisierung der Bildung und Wissenschaft“ beschäftigt sich in vier von fünf Arbeitsgruppen mit dem Schwerpunkt Bildung [BBF16]. Schließlich sei als drittes Beispiel für eine Konzentration auf Bildung bzw. hier Lehre das „Hochschulnetzwerk Digitalisierung der Lehre Baden-Württemberg“ genannt, ein „Zusammenschluss der staatlichen Hochschulen Baden-Württembergs zur kooperativen Weiterentwicklung der digitalen gestützten Hochschullehre“ [HND17]. Analog den in Tab. 1 genannten Aufgabenausprägungen des IIM finden sich neben Digitaler Bildung aber auch die Begriffe *Digitale Wissenschaft* (bspw. [Do11]) bzw. *Forschung* sowie *Digitale Verwaltung*.

Tatsächlich und an sich wenig überraschend hat die Digitalisierung der Hochschulen im

Bereich der Wissenschaften bzw. der akademischen Forschung begonnen. Hier waren es zunächst die Informatik und verwandte Disziplinen, zu deren Forschungsgegenständen IKT zählt. Aber auch die mit Informationsbeschaffung, -verarbeitung und -verbreitung beauftragten Service-Einrichtungen wie Bibliotheken und Rechenzentren haben seit jeher eine Vorreiterrolle beim IKT-Einsatz an Hochschulen. Der Übergang von *E-Science* zu *Digital-Science* lässt sich gut am Aufkommen der *Digital-Humanities* verdeutlichen, die sich an der Schnittstelle von Geisteswissenschaften und Informatik als eigenständige Forschungsrichtung ab etwa dem Jahr 2000 entwickelt haben [Ja16]. Zwar wurden bereits lange zuvor auch in den Geisteswissenschaften IKT als Werkzeug für Kommunikation, Wissensbeschaffung und Ergebnispublikation genutzt. In den Digital-Humanities ist aber IKT nicht mehr nur ein Werkzeug, sondern integraler und essentieller Bestandteil fachspezifischer Forschungsmethoden und -prozesse. Ähnliche Entwicklungen lassen sich mittlerweile in fast allen Disziplinen beobachten [DFG16].

Der Begriff der *Digitalen Verwaltung* ist derzeit eher außerhalb der Hochschulen im allgemeinen Bereich der öffentlichen Verwaltung anzutreffen. Hier bspw. auf Fachportalen im Internet [Jü16] aber auch als gleichnamiges Regierungsprogramm, das per Kabinettsbeschluss 2014 auf den Weg gebracht wurde. Dabei wurde allerdings auf eine aussagekräftige Definition verzichtet und sich stattdessen auf die Aussage beschränkt, dass die Verwaltung der Zukunft die Potenziale der Digitalisierung nutzt und dadurch „effektiv, transparent, effizient, barrierefrei, bürger- und unternehmens-freundlich“ ist [BR14]. Inhaltlich beschäftigt sich das Programm u. a. mit E-Beschaffung, E-Rechnung, E-Gesetzgebung und E-Government und verfolgt damit offensichtlich einen eher evolutionären als radikalen Veränderungsansatz. Im Bereich der Hochschulverwaltung findet sich dafür eine weitere Begriffsschöpfung mit Bezug zur Digitalisierung der Verwaltung: *Hochschulservice 4.0*. Unter diesem Leitthema bzw. der Frage nach den damit verbundenen Herausforderungen hat 2016 die Arbeitsgemeinschaft der Kanzlerinnen und Kanzler der Fachhochschulen Deutschlands ihre Jahrestagung durchgeführt. Was genau sich hinter diesem Begriff verbirgt und ob und wie er sich vom Begriff der Digitalen Verwaltung unterscheidet, geht leider aus der einsehbaren Tagungsdokumentation [Hk17] nicht hervor.

Hochschulservice 4.0 führt aber zu weiteren Begriffen mit Hochschulbezug, die ebenfalls diese Versionsnummer tragen, wie etwa *Hochschule 4.0* [Sc15], [SW17] oder *Campus 4.0* [DFN17]. Diese Begriffe weisen gegenüber den zuvor genannten stärker institutionellen Charakter auf, beziehen sich also auf die ganze Institution Hochschule. Die Versionsnummer 4.0 ist nicht durch die Existenz dreier vorangegangenen Versionen erklärbar, sondern entsteht vielmehr durch eine eher unreflektierte Anlehnung an den Begriff *Industrie 4.0* [LFK+14]. Dieser basiert tatsächlich auf drei vorangegangenen Versionen bzw. industriellen Revolutionen. Die Analogie liegt nun vereinfacht ausgedrückt darin, dass Industrie 4.0 das Ergebnis der vierten industriellen Revolution in Form der Digitalisierung ist, mithin Hochschule 4.0 das Ergebnis einer Hochschulrevolution durch Digitalisierung. Wie diese Hochschule 4.0 jedoch konkret aussehen wird, ist derzeit eine noch offene Frage [Me15, SW17]. Die Erfahrung mit IT-Innovationen lehrt: Es wird wohl nicht die letzte Version bleiben.

Weitere anzutreffende Varianten mit institutioneller Bedeutung sowie explizitem Bezug auf die Digitalisierung sind *Digitale Hochschule* und *Digitaler Campus*. In Nordrhein-Westfalen haben sich 40 Universitäten, Fach-, Kunst- und Musikhochschulen mit dem Landesministerium für Innovation, Wissenschaft und Forschung 2016 zur Kooperationsgemeinschaft *Digitale Hochschule NRW* zusammengeschlossen [DHN16]. Quasi als Alternativmodell zum o. g. baden-württembergischen Hochschulnetzwerk Digitalisierung der Lehre wird hier ganzheitlich an den Handlungsfeldern Gestaltung der Digitalisierung in 1) Lehre, 2) Forschung und 3) Infrastruktur und Management gearbeitet. Der Begriff Digitaler Campus wurde von Kerres und Voß bereits 2003 verwendet, damals allerdings noch bezogen auf einen nachhaltigen Medieneinsatz an der Hochschule [Ke03]. Im Rahmen der Digitalisierungsdiskussion wird er aber heute überwiegend synonym zu Digitaler Hochschule gebraucht (bspw. [Un15]).

Einen bisher noch nicht thematisierten Aspekt betont der Begriff *Automated-University* [Ni17], der allerdings bisher auch keine breite Verwendung gefunden hat. Automatisierung gilt insbesondere in der Industrie schon seit langem als Schlüssel zu höherer Produktivität sowie stabiler Qualität (durch Reduzierung des Risikos menschlichen Versagens). Durch signifikante Fortschritte in Forschung und Entwicklung zu Künstlicher Intelligenz und Robotik haben sich hier im Zuge der Digitalisierung völlig neue Möglichkeiten erschlossen. Daher sind es längst nicht mehr nur einfache Routinetätigkeiten, die sich automatisieren lassen. Im IT-Management gibt es bereits Anwendungsbeispiele wie Chat-Roboter, die automatisch Service-Anfragen menschlicher Nutzer beantworten. Die Übertragung solcher Anwendungsbeispiele auf den Hochschulbetrieb ist durchaus naheliegend [FB09] und die Entwicklung neuer Anwendungsfälle erfordert keine überdurchschnittliche Kreativität.

Abb. 1 fasst die behandelten Begriffe in einem Überblick zusammen und ordnet sie gemäß Reihenfolge der vorangegangenen Betrachtung in die drei Kategorien a) veränderungsorientiert, b) aufgabenorientiert und c) institutionell ein.



Abb. 1: Ordnung von Digitalisierungsbegriffen im Hochschulkontext.

Es wird offensichtlich, dass hier eine gewisse Begriffsinflation herrscht (vgl. [MB16]), bei der das Bemühen um einen modernen Anstrich teilweise gegenüber der zutreffenden

Benennung tatsächlicher Innovationseffekte zu überwiegen scheint. Zumal auch nicht immer sofort deutlich wird, ob es einen Unterschied zwischen den „Digitalbegriffen“ und den vor kurzem noch aktuellen „E-Begriffen“ (s. Tab. 1) gibt und was diesen ausmacht. Kerres [Ke16] beantwortet diese Frage für das Begriffspaar Digitale Bildung und E-Learning/-Teaching damit, dass Digitale Bildung E-Learning einschließt, allerdings weit darüber hinausgeht, in pervasiver Weise Prozesse, Orte und Formate der Bildungsarbeit durchdringt und dabei zusätzlichen Nutzen und Qualitäten entwickelt. Hieran lässt sich noch ein weiterer Aspekt der Digitalisierung veranschaulichen: Ein gesundes Maß an Skepsis gegenüber allzu euphorisch angepriesenen Innovationen ist durchaus nicht fehl am Platz. So ist es noch nicht allzu lange her, dass Digitale Bildung quasi mit MOOCs und ihren Derivaten gleichgesetzt wurde. Die vorhergesagte Revolution und insbesondere die „zusätzlichen Nutzen und Qualitäten“ konnten aber bis heute nicht in überzeugender Weise realisiert werden [Fe16]. MOOCs befinden sich derzeit eher im Tal der Enttäuschung des Gartner’schen Hype Cycles [Ga17], wobei unklar ist, ob sie den Aufstieg auf das Plateau der Produktivität noch schaffen.

4 Digitalisierung in fünf Perspektiven

Um die Diskussion zu versachlichen und an etablierten Konzepten zu reflektieren, wird der Digitalisierungsbegriff in Hochschulen in den folgenden Abschnitten systematisch aus fünf weitgehend disjunkten Blickwinkeln betrachtet.

4.1 Digitalisierung als Schnittstellen-Thema

Die Vielzahl der verwendeten digitalen Geräte, Applikationen und Services hat Hochschulen in den vergangenen Jahren in Atem gehalten. Die Standardisierung hat Dienste, die zum Teil noch vor 10 Jahren dezentral als *Muss* einer Informatik-Fakultät angesehen wurden (Bsp. E-Mail), erst zur sogenannten *Commodity* erklärt und zentralisiert. Die Fakultäten differenzieren sich heute nicht (mehr) über diese Dienste, Hochschulen noch viel weniger. Bring-Your-Own-XY hat den Schrecken weitgehend verloren, da die XY (meist Geräte) schon seit langer Zeit mitgebracht wurden, aber nicht einem zentralen Management unterliegen. Die Standardisierung von Schnittstellen und die Einhaltung dieser haben dazu geführt, dass technisches Wissen über MAC-Adressen und den Unterschied zwischen IPv4 und v6 nur wenige Nutzer interessieren muss [He14].

Die Schnittstellen in den Hochschulen, die wirklich Herausforderungen bedeuten, liegen primär zwischen den Anwendungsschichten und Applikationen der Verwaltungen. Die Vernetzung der Systeme zu integrierten Gesamtpaketen führte viele große Projekte in die Komplexitätsfalle, da Änderungen an einer Stelle plötzlich ungeahnte (und ungeplante) Auswirkungen hatten. Die Schlüsseltabellen zum Beispiel von Kostenstellen bekamen eine Semantik weit über die Finanzströme hinaus und wurden für die Abbildung der Organisationsstruktur verwendet, ohne dafür gestaltet worden zu sein.

Dabei darf nicht vergessen werden, dass auch die Applikationen in den Verwaltungen einem ständigen Zwang zur Modernisierung unterliegen und daher zahlreiche unbeendete bzw. sehr lange laufende Projekte sowie offene Anforderungen anzutreffen sind. Entsprechend schwierig gestaltet sich die klare Definition von Schnittstellen, da mit den Projekten die Ziele auf einmal beweglich werden. Ganz offensichtlich muss also unterschieden werden, ob die so dringend benötigten Schnittstellen auf aktuelle Applikationen vor der Projektierung oder einen Zustand nach dem Projekt abzielen.

4.2 Digitalisierung als Enterprise-Architecture-Thema

Die Gestaltung von Geschäftsobjekten, ihrer Beziehung untereinander und der darauf basierenden Prozesse, kurz das *Enterprise-Architecture-Management* (EA), ist an Hochschulen noch in den Kinderschuhen. In einzelnen Projekten, z.B. im Identity-Management, gibt es vergleichbare Ansätze, ohne explizit die Methoden des EA zu verwenden. Der Kerndatensatz Forschung [IF15] versucht, die Basiskomponenten systematisch über alle Bereiche des universitären Forschungslebens zu definieren und in Relation zu stellen. Durch den ZKI wurde eine Prozesslandkarte im Bereich des Student Life Cycle erarbeitet, ohne die dort fließenden Daten oder Objekte explizit zu gestalten [ZKI15]. Auch global sind nur wenige Initiativen zum wirklichen EA an Hochschulen vorhanden, z.B. bei durch CAUDIT [CE16]. Das mag auch daran liegen, dass im Vergleich zu einem betriebswirtschaftlich und nach Gewinn ausgerichteten Unternehmen die Hochschulen zunächst ein Verständnis für Geschäftsziele, Geschäftsprozesse und Geschäftsobjekte finden müssen. Auch wenn bereits Prozesslandkarten entwickelt werden, finden zeitgleich Diskussionen zur Anwendbarkeit von Geschäftsprozessmodellierung an Hochschulen statt.

Wären daher die prognostizierten Umwälzungen der Digitalisierung mit EA besser zu gestalten? Einige gute Argumente sprechen dafür, auch wenn Schwierigkeiten nicht von der Hand zu weisen sind: Die Klarheit in der Modellierung von Objekten ermöglicht robustere Schnittstellen. Die semantisch unklare Verwendung von Daten, die oft zu Problemen geführt hat, kann vermieden werden. Aber die Formalisierung vieler Geschäftsobjekte stellt nur dann einen Vorteil dar, wenn die Definitionen zukunftsweisend flexibel gestaltet werden. Die Abstraktion von Geschäftsobjekten ändert kurzfristig nicht die vorhandenen Anwendungen. Dennoch muss sie für eine langfristige Veränderung heute betrachtet werden. Eine Organisation kann sich nur neu ausrichten, wenn die Zielrichtung klar ist. Die Klarheit kann und muss durch EA verbessert werden [RWR06]. Ohne EA wären die Gewinner der Digitalisierung in der Wirtschaft nicht so erfolgreich, denn sie haben durch die im Wesentlichen fließenden Daten das Potential erkannt, flexibler ohne zentrale Ressourcen auskommen zu können.

4.3 Digitalisierung als Projekt-Thema

Brauchen die Hochschulen also nur ein EA einzuführen und die Digitalisierung ist gemeistert? Sicherlich nicht. Beim Blick auf die Effekte der Digitalisierung fallen nur die Gewinner ins Auge; die Vielzahl der gescheiterten Initiativen sieht man nicht. Die Suche nach Gemeinsamkeiten ist also verzerrt. Der Faktor Glück ist dabei relevant, aber oft nicht quantifizierbar. Daher bleibt den Hochschulen oft nur die Option eines guten Innovationsmanagements mit vielen schnellen Versuchen und einem agilen Handeln. Zwar stellt eben dieser Punkt bereits eine erste Herausforderung dar. Für ein gutes Innovationsmanagement bedarf es Transparenz und passender Informationen aus der eigenen Hochschullandschaft sowie gute Investitionsentscheidungen. Agiles Handeln ist daneben nicht ohne gut funktionierende IT-Governance zu erreichen. Damit sind jedoch bereits konkrete Ansatzpunkte genannt, die letztlich mit der Einführung eines EA einhergehen.

Wenn viele Initiativen mit ähnlichen Zielen entstehen, kann oft beobachtet werden, dass sich schnell einige wenige vom übrigen Feld absetzen. Die glückliche Kombination aus der richtigen Kommunikation, Community, der Einfachheit des Ansatzes oder welche Faktoren auch immer relevant sein mögen, führt zu einem zeitweiligen Vorteil. Wird dieser ausgebaut, entstehen sinnvolle und erfolgreiche Projekte mit hoher Sichtbarkeit und potentiell dauerhaftem Wert. In der Hochschullandschaft sind diese „Leuchttürme“ ebenfalls sichtbar. Die Hochschule wird aber nur dauerhaften Nutzen daraus entwickeln, wenn die Integration in den normalen Betrieb mittels der geeigneten Schnittstellen realisiert wird. Der Dauerbetrieb der ehemaligen Forschungs-Projekte wird dann der neue Alltag und langfristig eine Commodity für viele Prozesse.

4.4 Digitalisierung als Service-Management-Thema

Die Aufgabenvielfalt und Anforderungen an die Rechenzentren in den Hochschulen nehmen kontinuierlich zu [He09]. Eine reine Bereitstellung von IT ist zudem unzureichend, wie die Empfehlungen der DFG zeigen [DFG16]. Es bedarf eines aktiven Managements der Angebote aus den Rechenzentren unter Berücksichtigung des realen Bedarfs. Immer mehr Hochschulrechenzentren orientieren sich daher an Rahmenwerken zum IT-Service Management. Eine gute Chance, um einer Digitalisierung den Weg zu bereiten und den Empfehlungen folgend auf Geschäftsprozesse zu fokussieren. Eine effektive Unterstützung mit der Beseitigung von Hindernissen und Grenzen durch passende IT-Services ist ein wesentliches Ziel dieser Ansätze. Die IT-Angebote erscheinen in einem gänzlich anderen Licht, da durch eine vernetzte Sicht vom Geschäftsprozess über Services, Applikationen und Systeme bis hin zur eingesetzten Hardware der Nutzen und die Zusammenhänge deutlich dargestellt werden [EE15]. Service Management kann sehr gut in Zusammenspiel mit EA gebracht werden. Projekte sind der Weg, Veränderungen im Angebot zu realisieren – bis in den Betrieb der Services hinein.

Haben wir damit die Lösung für die Digitalisierung? Eher nicht, denn IT-Service Management steht für einen stabilen IT-Betrieb. Die Herausforderung wird sein, die disruptiven Eigenschaften der Digitalisierung mit dem Service Management zu vereinen. Begriffe wie *Two-Speed-IT* oder *bimodale IT* von namhaften Analysten kursieren in diesem Kontext derzeit. *Fail-Fast*-Ansätze zum Ausprobieren von Änderungen aus der agilen Welt können beim Voranschreiten der Digitalisierung hilfreich sein. In Unternehmen gibt es dafür eigene entwicklungsorientierte IT-Teams, die bisher in Hochschulen nicht zu finden sind. Eine darauf spezialisierte IT-Abteilung zum Innovationstreiber zu entwickeln scheint der nächste Schritt nach der Service-Orientierung.

4.5 Digitalisierung als Steuerungsthema

Welche Projekte tragen dauerhaft zum Erfolg der Hochschule bei? Welche versorgen nur eine spezielle Nutzergruppe? Die Entscheidung, ob das Projektergebnis oder diese spezielle Nutzergruppe zum Gesamterfolg der Hochschule genügend beiträgt, wird oft mit dem Begriff des *Alignments* beschrieben. Eine Strukturierung der Entscheidungsprozesse ist eines der oben genannten stabilisierenden Elemente, welche von der DFG seit Jahren empfohlen wird. Warum diese Steuerung in Hochschulen dringend nötig wäre, aber bisher an vielen Stellen ignoriert wurde, hat eine Vielzahl von Gründen.

Angefangen vom kulturellen Selbstverständnis der Freiheit von Forschung und Lehre, welches sich nicht nur in der Gremien- und Konsenskultur von Hochschulen niederschlägt, bis zur Vermeidung von Transparenz und dem Erhalt von Einflussstrukturen kann man über viele Gründe spekulieren. Tatsächlich nachgewiesen werden konnte in Hochschulen bisher primär der Mangel an effektiver Delegation von Entscheidungen. Übergreifende, quantitative Studien haben gezeigt, dass diejenigen Hochschulen, die eine klare IT-Governance-Struktur aufbauen, z.B. bei der Drittmitteleinwerbung besonders erfolgreich sind [HB15, HB16]. Die Autoren vertreten die Hypothese, dass diese Hochschulen offensichtlich durch die innere Organisation und Kultur in der Lage waren, beide Bereiche zu fördern und Erfolge zu erreichen. Weniger „Schatten-IT“ und weniger Dopplungen führten zu höherer Transparenz und Effizienz. Die dazu notwendigen Entscheidungen konnten nur getroffen werden, da eine effektive IT-Governance-Struktur sie ermöglichte.

Aktuell bleibt es allerdings eine Hypothese, ob diese erfolgreichen IT-Governance-Strukturen ebenfalls in der Lage wären, die Digitalisierung erfolgreich zu lenken. Da gerade der disruptive Ansatz, also die nicht vorhandene Kontrolle – zumindest für die Wirtschaft – ein Kennzeichen der Digitalisierung ist, bleibt uns hier nur die Möglichkeit zu beobachten.

5 Thesen der Digitalisierung als CIO-Agenda

Unter der Annahme, dass Digitalisierung und deren Effekte überhaupt gesteuert werden können, müssen Hochschulleitungen die Verantwortung für diesen Managementprozess im Rahmen der Hochschulentwicklung wahrnehmen und unter Einbeziehung eines CIOs oder eines Gremiums mit vergleichbarer Funktion aktiv in der Hochschulstrategie verankern. Folgende Thesen und Fragen greifen die fünf Perspektiven des vorangegangenen Abschnitts auf. Sie sollen den CIO anregen, die Digitalisierung der eigenen Hochschule zu adressieren:

1. These: Der Erfolg des digitalen Wandels korreliert stark mit dem Grad der Standardisierung der Schnittstellen zwischen Kernprozessen und den Applikationen, die diese realisieren.
   Frage: Wo leiden Verwaltungsprozesse bisher unter ungenügend strukturierten Schnittstellen, so dass die Potenziale vernetzter Informationen noch nicht in angemessener Weise genutzt werden?

2. These: Die Vernetzung von Information entlang klar definierter Geschäftsobjekte wird kritischer Bestandteil eines digitalen Wandels in den Hochschulen sein.
   Frage: Welche Geschäftsobjekte sind Kernbestandteil der heutigen Prozesse und erfahren durch einen vernetzten Informationsfluss potentiell eine drastisch neue Verwendung?

3. These: Da jede Innovation mit Veränderungen verbunden ist, die in den Folgen weit über die Projektdauer hinausgehen können, müssen diejenigen Projekte mit einer hohen Übereinstimmung mit den Zielen der Hochschule dauerhafte Wirkung entfalten.
   Frage: Welche Projekte haben das Potential, in der Kohärenz zur Gesamtstrategie der Hochschule einen dauerhaften Nutzen über den ursprünglichen Kreis der Projektinteressierten hinaus zu bekommen?

4. These: Die Beschleunigung des Wandels durch kürzere Innovations- und Entwicklungszyklen hat primär dort einen relevanten Einfluss, wo jeder Einzelne nicht nur betroffen ist, sondern einen persönlichen Nutzen entwickelt.
   Frage: Welche übergreifenden Projekte bieten das Potential, synergetisch als Katalysatoren in der Hochschule zu wirken, da viele Personen einen direkten Nutzen für die eigene Tätigkeit sehen?

5. These: Die Fähigkeit einer Organisation, richtungsweisende Entscheidungen zu treffen und zu kommunizieren sowie ggf. mit Traditionen an den Stellen zu brechen, wo diese belasten, kann zu einem diskriminierenden Kriterium zwischen Hochschulen werden.
   Frage: In welchen Entscheidungsdomänen sind in den letzten 24 Monaten keine oder nicht genug Entscheidungen gefallen, so dass dieser Stau schon heute übergreifende Projekte behindert?

Offensichtlich benötigen CIOs und somit die Hochschulen zur Beantwortung der gestellten Fragen einige ganz konkrete Informationen. Dazu gehören Prozesse und Geschäftsobjekte sowie deren Beziehungen untereinander. Auf der strategischen Ebene eines CIO ist dabei nicht die detaillierte Notation eines einzelnen Geschäftsprozesses ausschlaggebend, sondern vielmehr die Prozesslandkarte. Neben der Dokumentation der Prozesse müssen die zu realisierenden Applikationen bekannt sein. Auch hier sollte in der Regel eine Applikationslandkarte hinreichend sein. Zur qualitativen und quantitativen Bewertung von Projekten müssen diese nicht nur dem Namen nach bekannt sein, sondern auch deren Ziele und die durch die Projekte zu ändernden Prozesse und Applikationen. In der Gegenüberstellung der Projekte ergibt sich implizit eine Projekt- oder Programmlandkarte. Schließlich benötigt der CIO noch konkrete Informationen zu der Strategie und den Zielen der Hochschule. Hierdurch ist er letztlich in der Lage, die zuvor genannten Informationen strategisch an der Hochschule auszurichten.

Die hier dargestellten Thesen und Fragen sind bisher nicht wissenschaftlich fundiert untersucht. Daher sind in Zukunft tiefergehenden Analysen und Studien notwendig, um damit die Basis zu einer empirischen Einordnung der Digitalisierung an Hochschulen zu legen. Dabei wäre insbesondere zu untersuchen, welchen Mehrwert eine solche Betrachtung der Digitalisierung hat und in wie fern diese Gesamtsicht Vorteile gegenüber den einzelnen etablierten Konzepten (IT-Governance, Service-Management usw.) hat. Das entstehende Referenzschema sollte validiert werden und dann z.B. in der Lage sein, den jeweiligen Stand der Digitalisierung einer Hochschule einzuordnen.

Literaturverzeichnis

[AAC17] Alt, R.; Auth, G.; Kögler, C.: Innovationsorientiertes IT-Management mit DevOps, Springer, Berlin, 2017.

[ACY03] Andal-Ancion, A.; Cartwright, P. A.; Yip, G. S.: The Digital Transformation of Traditional Business, MIT Sloan Management Review, Research Feature, 2003.

[Ab15] Abolhassan, F.: Was treibt die Digitalisierung? Warum an der Cloud kein Weg vorbeiführt, Springer, Wiesbaden, 2015. http://link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-3-658-10640-9.pdf, Stand: 30.04.2017.

[BB10] Bode, A.; Borgeest, R. (Hrsg.): Informationsmanagement in Hochschulen, Springer, Berlin, Heidelberg, 2010.

[BBF16] Bundesministerium für Bildung und Forschung (Hrsg.): Digitale Chancen nutzen. Die Zukunft gestalten. Zwischenbericht der Plattform „Digitalisierung in Bildung und Wissenschaft“, 2016.

[BM15] Brynjolfsson E.; McAfee A.: The second machine age. Wie die nächste digitale Revolution unser aller Leben verändern wird, 2. Aufl., Börsenmedien AG, Kulmbach, 2015.

[BR14] Die Bundesregierung (Hrsg.): Digitale Verwaltung 2020 – In Kürze, Regierungs-

programm 18. Legislaturperiode, 2014.

[CE15] CAUDIT, Enterprise Architects, & FromHereOn: The Higher Education Reference Architecture, 2015. http://www.cheita.org/publicationsresources/ea-model/, Stand 30.04.2017.

[DFG01] Deutsche Forschungsgemeinschaft: Informationsverarbeitung an Hochschulen - Netze, Rechner Organisation: Empfehlungen der Kommission für Rechenanlagen für 2001-2005, Deutsche Forschungsgemeinschaft, Bonn, Germany, 2001.

[DFG16] Deutsche Forschungsgemeinschaft: Informationsverarbeitung an Hochschulen - Organisation, Dienste und Systeme: Empfehlungen der Kommission für IT-Infrastruktur für 2016-2020, Deutsche Forschungsgemeinschaft, Bonn, Germany. 2016.

[DFN17] Deutsches Forschungsnetz e. V.: Campus 4.0. 13. Tagung der DFN-Nutzergruppe Hochschulverwaltung vom 15.-17. Mai 2017 an der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster. https://www.hochschulverwaltung.de/tagung/2017/index.htm, Stand: 30.04.2017.

[DHN16] Digitale Hochschule NRW, 2016. https://www.dh-nrw.de/, Stand 30.04.2017.

[Do11] Donk, A.: Ambivalenzen der Digitalisierung: Neue Kommunikations- und Medientechnologien in der Wissenschaft. Wissenschaftliche Schriften der WWU Münster, Reihe VII, Band 8 (zugleich Dissertation Westfälische Wilhelms-Universität zu Münster), 2011.

[DT17] Deutsche Telekom AG: Digital Leadership: Telekom hebt Level für Führungskräfte. https://www.telekom.com/de/medien/medieninformationen/detail/digital-leadership-telekom-hebt-level-fuer-fuehrungskraefte-489532, Stand 30.04.2017.

[EE15] Erfurth, C.; Erfurth, I.: IT-Dienste im Kontext von Hochschulprozessen - Eine IT-Landkarte zur Unterstützung des IT Servicemanagements. In Cunningham, D. W.; Hofstedt, P.; Meer, K.; Schmitt, I. (Hrsg.): 45. Jahrestagung der Gesellschaft für Informatik, Informatik 2015 in Cottbus. Volume 246 of LNI, S. 663-674, GI, 2015.

[FB09] Fong, S.; Biuk-Aghai, R. P.: An Automated University Admission Recommender System for Secondary School Students, Proc. of the 6th Int. Conference on Information Technology and Applications (ICITA 2009), pp. 37-42, 2009.

[Fe16] Ferreri, E.: Looking back at the MOOC revolution, 2016. https://today.duke.edu/2016/10/looking-back-mooc-revolution, Stand: 30.04.2017.

[LFK+14] Lasi, H.; Fettke, P.; Kemper, H.-G.; Feld, T.; Hoffmann, H.: Industry 4.0 – Catchword, Business & Information Systems Engineering, Nr. 4/2014, S. 239-242, 2014.

[Ga17] Gartner, Inc.: Gartner Hype Cycle. http://www.gartner.com/technology/research/methodologies/hype-cycle.jsp, Stand: 30.04.2017

[HB15] von der Heyde M.; Breiter A.: Wer entscheidet? IT-Governance an Hochschulen. In Cunningham, D. W.; Hofstedt, P.; Meer, K.; Schmitt, I. (Hrsg.): 45. Jahrestagung der Gesellschaft für Informatik, Informatik 2015 in Cottbus. Volume 246 of LNI, S. 651-662, 2015.

[HB16] von der Heyde M.; Breiter A.: CIO structures and the success of HE institutions.

EUNIS 2016, Thessaloniki, pp 40-43, 2016.

[HD15] Geschäftsstelle Hochschulforum Digitalisierung (Hrsg.): Diskussionspapier- 20 Thesen zur Digitalisierung der Hochschulbildung. Arbeitspapier Nr. 14. Berlin, 2015.

[He09] Held, W. et al. (Hrsg.): Vom Anfang des Informationszeitalters in Deutschland Geschichte der Zusammenarbeit der Rechenzentren in Forschung und Lehre vom Betrieb der ersten Rechner bis zur heutigen Kommunikation und Informationsverarbeitung, Verlagshaus Monsenstein und Vannerdat, Münster, 2009, http://www.zki.de/publikationen/, Stand: 30.04.2017.

[He14] von der Heyde, M.: Anforderungen an die IT-Architektur und deren Nutzen für flexible Versorgungkonzepte, PIK – Praxis der Informationsverarbeitung und Kommunikation, Nr. 1/2014, 2014.

[He13] Hess, T.: Digitalisierung. Gronau, N. et al. (Hrsg.): Enzyklopädie der Wirtschaftsinformatik, 2013. http://www.enzyklopaedie-der-wirtschaftsinformatik.de/lexikon/technologien-methoden/Informatik--Grundlagen/digitalisierung/index.html, Stand 30.04.2017.

[Hk17] Hochschulkanzler e.V.: Workshops & Vorträge der Jahrestagung 2016. http://www.kanzlernet.de/start/veranstaltungen/jahrestagungen/jahrestagung-2016/vortraege.html, Stand: 30.04.2017.

[HND17] Hochschulnetzwerk Digitalisierung der Lehre Baden-Württemberg. https://www.hnd-bw.de/, Stand: 30.04.2017.

[IF15] Institut für Forschungsinformation und Qualitätssicherung (iFQ), Fraunhofer -Institut für Angewandte Informationstechnik (FIT) & Geschäftsstelle des Wissenschaftsrates: Spezifikation des Kerndatensatz Forschung, 2015. http://www.kerndatensatz-forschung.de/version1/Spezifikation_KDSF_v1.pdf, Stand: 30.04.2017.

[Ja16] Janndis, F.: Digital Humanities, Aktuelles Schlagwort. Informatik Spektrum 39(2), S. 155-160, 2016.

[Jü16] Jürgens, C.: Von der E-Akte zur digitalen Verwaltung, 2016. http://www.egovernment-computing.de/von-der-e-akte-zur-digitalen-verwaltung-a-553790/, Stand: 30.04.2017.

[Ke03] Kerres, M.; Voß, B. (Hrsg.): Digitaler Campus - Vom Medienprojekt zum nachhaltigen Medieneinsatz in der Hochschule (Medien in der Wissenschaft, Vol. 24), Waxmann Verlag, Münster 2003.

[Ke16] Kerres, M.: E-Learning vs. Digitalisierung der Bildung: Neues Label oder neues Paradigma? In (Hohenstein, A.; Wilbers, K.; Hrsg.) Handbuch E-Learning, Fachverlag Deutscher Wirtschaftsdienst, 61. Ergänzungslieferung, , Köln , 2016.

[KHV+13] Keuper, F.; Hamidian, K.; Verwaayen, E.; Kalinowski, T.; Kraijo, C. (Hrsg.): Digitalisierung und Innovation – Planung – Entstehung – Entwicklungsperspektiven,Springer Gabler, Wiesbaden , 2013.

[MB16] Mertens, P.; Barbian, D.: Digitalisierung und Industrie 4.0 – Trend mit modischer Überhöhung? Informatik Spektrum 39 (4), S. 301-309, 2016.

[MCB+15] Manyika, J.; Chui, M.; Bisson, P.; Woetzel, J.; Dobbs, R.; Bughin, J.; Aharon, D.:

Unlocking the Potential of the Internet of Things, McKinsey Global Institute, 2015. http://www.mckinsey.com/business-functions/digital-mckinsey/our-insights/the-internet-of-things-the-value-of-digitizing-the-physical-world. Stand 30.04.2017.

[Me15] Mertens, P.: Zwischenruf: Hochschule 4.0 – ein Paradigmenwechsel? HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik 52, S. 645f., 2015.

[Ni17] Niemtus, Z.: The automated university: bots and drones amid the dreaming spires, The Guardian, 04.04.2017. https://www.theguardian.com/higher-education-network/2017/apr/04/the-automated-university-bots-and-drones-amid-the-dreaming-spires, Stand: 30.04.2017.

[RWR06] Ross, J. W.; Weill, P.; Robertson, D.: Enterprise Architecture As Strategy: Creating a Foundation for Business Execution, Harvard Business Review Press, Boston, Mass, 2006.

[SC10] Schmidt, E.; Cohen, J.: The Digital Disruption, Foreign Affairs, 8(6), 2010. http://n.ereserve.fiu.edu/GLRESF274.52.pdf, Stand: 30.04.2017.

[Sc11] Schoder, D.: Informationsmanagement 2.0 – Nur der Wandel ist stetig, Wirtschaftsinformatik und Management, Nr. 2/2011, S. 54-58.

[Sc15] Scheer, A.-W.: Hochschule 4.0, Whitepaper Nr. 8, August-Wilhelm Scheer-Institut für digitale Produkte und Prozesse, 2015.

[SKS+10] Schuh, G.; Klappert, S.; Schubert, J.; Nollau, S.: Grundlagen zum Technologie-management, in: Schuh, G., Klappert, S. (Hrsg.): Technologiemanagement, Springer, Berlin,Heidelberg, 2010, S. 33-54.

[SW17] Strobel, M.; Welpe, I. M.; Hochschule 4.0 – Die Zukunft der Hochschule erfinden. Forschung & Lehre, Nr. 4/17, 2017, S. 316-318.

[UA17] Urbach, N., Ahlemann; F.: Die IT-Organisation im Wandel: Implikationen der Digitalisierung für das IT-Management. HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik, Online First article, DOI 10.1365/s40702-017-0313-6, 2017.

[Un15] Unger, L.: Wissenschaftsminister Spaenle startet neues Förderprogramm „Digitaler Campus Bayern“, Pressemitteilung Nr. 033 vom 04.02.2015, Bayerisches Staatsministerium für Bildung und Kultus, Wissenschaft und Kunst, 2015.

[Ve94] Venkatraman, N.: IT-enabled Business Transformation: from Automation to Business Scope Redefinition, Sloan Management Review 35, S. 73-87, 1994.

[We15] Weinman, J.: Digital disciplines. Attaining market leadership via the cloud, big data, social, mobile, and the internet of things, Wiley (Wiley CIO series), Hoboken, 2015.

[ZKI15] Zentren für Kommunikation und Informationsverarbeitung e.V. (ZKI): Die Prozesslandkarte für den Bereich Studium und Lehre des ZKI AK Campus Management, 2015. https://www.zki.de/wikis/ak-cm/prozess_ag/aktueller_stand_der_prozesslandkarte, Stand 30.04.2017.

BDSDST 2017 – 3rd International Workshop on Big Data, Smart Data and Semantic Technologies

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 1775

3rd International Workshop on Big Data, Smart Data and Semantic Technologies

Matthias Frank[1], Natalja Kleiner[1], Stefan Zander[2], Thomas Setzer[3], York Sure-Vetter[3] and Rudi Studer[3]

The growing technical possibilities to gather and aggregate multi-modal data from sensors, mobile devices, social media, log files, cameras, microphones etc. have resulted in large and complex data sets, which today are known as Big Data, are characterized by high data volume, high variety of the data types and data sources, high velocity of the incoming data and the expected information output (real time requirement) as well as the uncertainty about the veracity of the data, which makes it difficult to process the data using existing data management applications and traditional information technologies. On the other hand, when processed properly, Big Data might carry huge amounts of useful information, which was not accessible before and allow for better-founded, more robust predictions and better decision-making amongst others regarding environmental and energy aspects. That is why new predictive and prescriptive analytic approaches are gaining increasing importance.

Besides new analytic approaches, novel information technologies such as semantic technologies are necessary in order to exploit the maximum potential of the gathered data. Unlike traditional information technology where the meaning of data and their relationships are predefined and "hard-wired" into data formats and applications, semantic technologies encode meanings explicitly and independent from concrete formats and application logic. This enables machines and people likewise to understand, share, and reason over semantically represented data. Semantic technologies provide an abstraction layer on top of existing ICT infrastructures and facilitate the interrelation and integration of data, content, and processes in meaningful ways, which is very important when dealing with high amounts of heterogeneous data. We believe that using Big/Smart Data as well as methods and tools based on semantic technologies will provide more transparency, enable precise and well-founded decisions, which will result in more sustainable and efficient processes and systems in different application areas such as production, logistics, supply chain management, geo-information systems, smart services and others.

[1] FZI Research Center for Information Technology, Haid-und-Neu-Str. 10-14, 76131 Karlsruhe, Germany
[2] Hochschule Darmstadt, Fachbereich Informatik, Schoefferstrasse 8B, 64295 Darmstadt, Germany
[3] Karlsruhe Institute of Technology, Institute AIFB, Kaiserstraße 89, 76133 Karlsruhe, Germany

doi:10.18420/in2017_176

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 1777

An Ontology-based Approach for Domain-driven Design of Microservice Architectures

Andreas Diepenbrock[1], Florian Rademacher[2] and Sabine Sachweh[3]

Abstract: Microservice Architecture (MSA) is an emerging service-based architectural style that focuses on the design and implementation of highly scalable distributed software systems. To analyze the business domain and its decomposition into services Domain-driven Design (DDD) is commonly applied. DDD is an approach for designing software that relies on various model-based concepts to express knowledge about the business domain, e.g. the Bounded Context (BC) pattern, which clusters a set of coherent Domain Models (DM). In addition to the fact that MSAs fosters a high degree of team independence, the uncoordinated evolution of DMs that originally were semantically equivalent or partially shared similar semantics can occur. In this paper, we identify challenges related to the semantic decoupling of DMs. Additionally, we present a metamodel for modeling MSAs based on the principles of DDD which allows the expression of semantics for relationships between fragmented DMs and SMs.

Keywords: Ontologies, Domain-driven Design, Microservices, Web Ontology Language

1 Introduction

With the increasing need of highly scalable and distributed systems, the Microservice Architecture (MSA) style has emerged [Ne15]. MSA focuses on decomposing a software architecture into services that are responsible for providing cohesive business or technological capabilities distinct from other services and fosters a high degree of team independence [RSZ17, VC16]. MSA arises from the Service Oriented Architecture (SOA) style which also focuses on the decomposition a software architecture into services, but requires an Enterprise-Service-Bus (ESB) for routing and sending messages among services. While the philosophy behind SOA can be described as "share-as-much-as-you-can" the MSA philosophy is "share-nothing", which fosters the usage of agile development methods,

[1] University of Applied Sciences and Arts Dortmund, Institute for Digital Transformation of Application and Living Domains (IDiAL), Otto-Hahn-Straße 23, 44227 Dortmund, andreas.diepenbrock@fh-dortmund.de
[2] University of Applied Sciences and Arts Dortmund, Institute for Digital Transformation of Application and Living Domains (IDiAL), Otto-Hahn-Straße 23, 44227 Dortmund, florian.rademacher@fh-dortmund.de
[3] University of Applied Sciences and Arts Dortmund, Institute for Digital Transformation of Application and Living Domains (IDiAL), Otto-Hahn-Straße 23, 44227 Dortmund, sabine.sachweh@fh-dortmund.de

doi:10.18420/in2017_177

and promotes autonomy and isolation of development teams [FLM17, YSS17]. To design systems that are based on the MSA, the Domain-driven Design (DDD) [Ev04] is commonly used [PJ16]. DDD is a model-based approach for designing complex software with evolving models representing core domain concepts and propose the use of *Domain Models* (DMs), *Bounded Context* (BC), and *Shared Models* (SMs) (cf. Section 2).

However, BCs and DMs lack support for the expression of semantics. In particular, this becomes problematic when DDD is used for MSA design, as DMs are fragmented over the system's architecture and, due to MSA's emphasis on team independence [YSS17], might be evolved independently, yet they partially share the same semantics or are semantically equivalent. Additionally, the typically high degree of independence among MSA team can lead to a different understanding of domain concepts. Furthermore, having a shared understanding of a certain domain is not only challenging when using MSA, but in software development in general [Ev04].

Ontologies are an approach for expressing knowledge and semantics in a particular domain. This knowledge can be used to formally modeling the structure of a system like entities or relationships [SS09]. Instead of classes, attributes and associations, ontologies leverage concepts, properties and relations to express knowledge about the domain and domain-related coherences. These concepts are used to express knowledge in a form that allows automatic interpretation and derivation of additional semantical knowledge about the specific domain. For the expression of ontologies, several languages have been proposed, with the Web Ontology Language (OWL) being one of the most popular ones besides the Resource Description Framework (RDF) [BPD09].

In this paper we address DDD's lack of support for expressing semantics in DDD-based models by means of ontologies and OWL. Thereby, our contribution is twofold. First, to enable the expression of semantic relationships in a domain-driven MSA design, we define a metamodel for DDD that comprises concepts for DMs, their assignment to BCs and the definition of SMs between BCs. Second, we extend this metamodel with semantical capabilities that enable the expression of semantics of DMs and SMs and their relationships across BCs. The application of our metamodel allows (i) to use DDD for modeling BCs, DMs and SMs and the foundation of business related Microservices; (ii) enrich DMs and SMs with semantic to ensure a common understanding of domain concepts in distributed MSA development.

The remainder of this paper is structured as follows. In Section 2 we describe the design of MSAs based on the DDD approach. Section 3 introduce a running example that is used for the identification of challenges of fragmented Domain Models in an MSA which is described in Section 4. Based on these challenges, Section 5 presents our metamodel for modeling an MSA following the DDD approach and enrich with semantical knowledge. Section 6 presents related work in this field and Section 7 concludes and describes future work.

2 Domain-driven Design of Microservice Architectures

When designing an MSA, a number of technical and organizational aspects have to be considered. While in the monolithic architecture style the complete application shares the same codebase, it is split into multiple independent Microservices in an MSA [Na16, Vi15]. The independence of MSA also has an impact on the team independence, also MSA fosters benefits like (i) flexible adaption of software systems; (ii) increased software quality because of isolated testability, higher resilience and runtime scalability; (iii) increased development team productivity as the architecture's structure can be aligned with the team structure and each service being maintained by exactly on team [RSZ17].

A well established approach for decomposing a software into Microservices is DDD [Na16]. It propose to use DMs for expressing domain concepts and the application of the BC pattern to cluster coherent DMs and express the boundaries of Microservices [Wo16]. A DM represents a domain concept and its characteristics, which are modeled as attributes of a DM. However, in distributed software systems like MSAs there might be many DMs and DDD proposes to cluster related DMs in BCs. The concept of BCs is used for modeling the domain concepts encapsulated by a business-related Microservice [Ne15]. Thereby, sharing relationships between BCs have to be made explicit in the form of SMs. An SM is a tailored version of a DM and contains only those domain attributes that need to be shared with another BC.

Figure 1 shows DDD modeling concepts relevant to domain-driven MSA design. Table 1 explains each concept depicted in Figure 1.

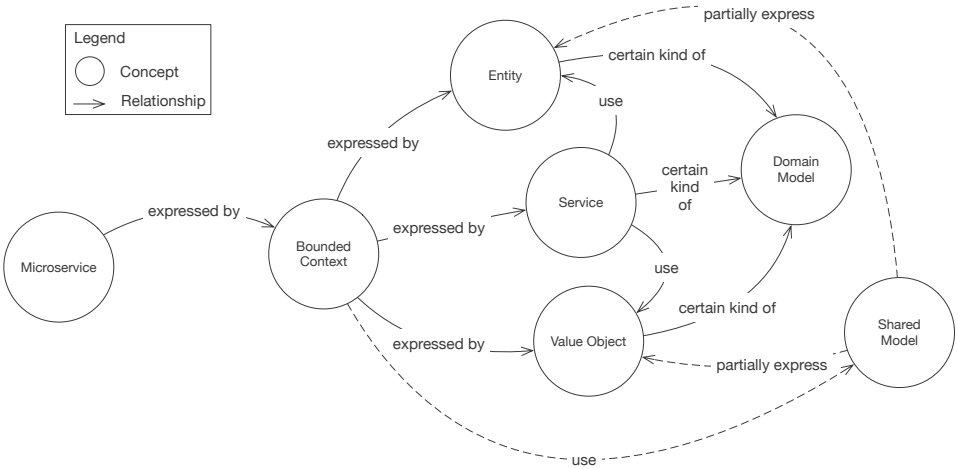


Fig. 1: Navigation Map for Domain-driven Design in MSA

When applying DDD as well as DMs, SMs and BCs for decomposing a certain domain, each of the mentioned modeling patterns can be mapped to an MSA component [Wo16].

Concept	Description
Bounded Context	A Bounded Context depicts the boundaries of a coherent part of the business domain. BCs can be nested, to express distinct sub-contexts related to the modeled BC. The concept of BCs is used for modeling the domain concepts encapsulated by a business-related Microservice.
Entity	Entities represent domain concepts with an identity and encapsulates related domain characteristics in the form of attributes. When changing attribute values of an entity, the identity of the entity itself is not affected.
Value Object	Like Entities, Value Objects represent domain concepts and encapsulate certain domain characteristics in the form of attributes. However, they do not exhibit a domain-oriented identity.
Service	Services represent functionality relevant to the modeled domain and differs to Microservices in form of internal functionality, e.g. Data Access Objects, Repositories for Entities or Value Objects or prepare and processing data. Services are only for internal use and are not exposed to other Microservices.
Domain Model	Domain Models are proposed for expressing domain concepts related to BCs. Furthermore, Entities, Services and Value Objects are certain kinds of DMs and express the internal domain concepts of the related BC.
Shared Model	Like Domain Models, Shared Models are also proposed for expressing domain concepts but related to other Microservices. With SMs also the partial expression of relevant domain concepts and their associated attributes are possible.

Tab. 1: Explanation of relevant concepts for the Domain-driven Design of MSAs [Ev04]

Each Microservice typically realizes a given BC and the DMs assigned to it. The SMs of the BC define the foundation for the respective Microservice's interface, whose purpose is to expose instances of the SMs to other services or external callers.

When designing software following the principles of DDD, the language of domain experts is used for naming of classes, attributes and relationships [Ev04]. DDD fosters the formation of a *Ubiquitous Language* (UL) that represents a consistent, unambiguous terminology of the respective domain and is applied in discussions between domain experts and developers as well as in all DDD-based models and related software implementations.

3 Running Example

Figure 2 shows the DDD-based model of an application called Research Management System (RMS), which we use in our research group to manage conference calls and papers. We leveraged packages and classes from UML to depict BCs, DMs and SMs. The domain-related structure of DMs or SMs and association between these are expressed by UML attributes and associations.

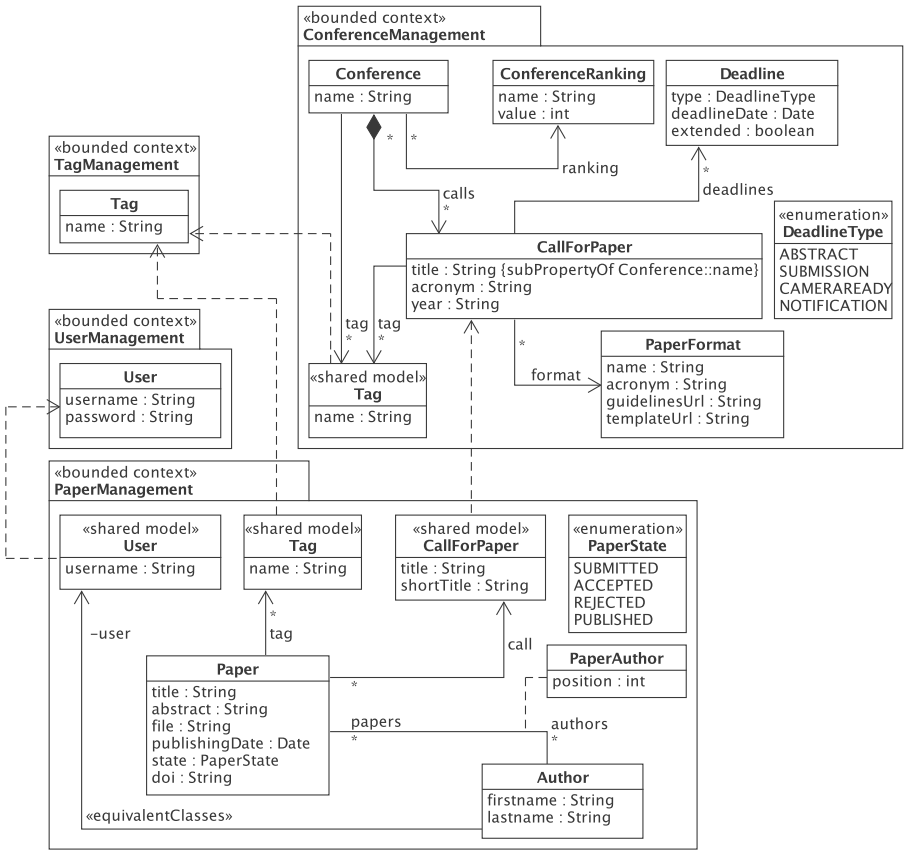


Fig. 2: DDD-based running example

The RMS allows to manage conferences, corresponding call for papers and written papers. Furthermore, information about the required paper format and important deadlines are maintained. To simplify the search for a suitable conference, calls for papers and written papers can be tagged. Papers may have several authors whose position on the paper can be configured. Additionally, a paper might be in one of the statuses “submitted”, “accepted”, “rejected” or “published”. Also an state for papers can be managed e.g. to distinguish between submitted and accepted papers.

The domain-driven design is composed of the BCs `TagManagement`, `UserManagement`, `PaperManagement` and `ConferenceManagement`. To manage the corresponding Tags of `Conference`, `CallForPaper` and `Paper` may have several Tags assigned. The `Tag` DM is part of the `TagManagement` BC. A `Paper` of the BC `PaperManagement` is assigned to a

`CallForPaper` of the `ConferenceManagement` BC, also the `Paper` may have multiple authors that are represented by `Author` in `PaperManagement`. Managing a `User` is settled in the BC `UserManagement` for authentication purpose.

Because the BC `PaperManagement` as well as the BC `ConferenceManagement` have to interact with other Microservices, these have defined Shared Model elements which are expressed in Figure 2 as classes with the stereotype `<<shared model>>`. In `PaperManagement` the SM `User` is defined that relates to the DM `User` of the `UserManagement` BC. This allows the relationship of `Paper` instances through the `Author` with `User`. Also the SM `Tag` in BC `PaperManagement` is defined that represents the DM `Tag` of the `TagManagement` BC. The relationship of DM `Paper` with the `CallForPaper` is realized by the SM `CallForPaper` within the `PaperManagement` BC. Realization of the SM `User` as well as `CallForPaper` within the BC `PaperManagement` are different than the respective DMs they relate to. Also the BC `ConferenceManagement` defines an SM `Tag` which relates to the DM `Tag` of the BC `TagManagement`. The relationship in Figure 2 between SM and the corresponding DM are visualized by the dashed line and the arrow is pointing to the respective DM.

4 Challenges of fragmented Domain Models in MSA

With fragmented DMs in a DDD-based MSA design (i) syntactical; (ii) structural; (iii) semantical challenges may occur [SvH06]. Syntactical challenges result from application of heterogeneous data formats, e.g. HTML, XML, JSON, RDF when data is exchanged and transformations between them can be problematic [SvH06]. Also the scope of these data formats can be different. While HTML, XML and JSON mainly used for expressing data, RDF is commonly used for defining data and its meaning in a meta-level. Structural challenges comprise the sub-challenges *bilateral conflicts*, *multilateral conflicts* and *meta-level conflicts*. While bilateral conflicts involve one element found in different sources, multilateral conflicts involve more than one element. Meta-level conflicts occur when using different modeling elements to represent the same kind of information. Semantical challenges results from a different understanding or mental representation of the domain. Among others, this may result in different naming schemes for the same concepts.

4.1 Semantical Challenge: Derived Domain Model Attributes

A typical semantical challenge occurs when attributes of domain concepts can be derived from other attributes. For example a Microservice that realizes the `ConferenceManagement` BC might expose concrete instances of the `CallForPaper` concept via its interfaces. However, due to convenience reasons, the developer team responsible for the service, might decide to expose these instances as string in which the `acronym` and `year` attributes are concatenated, e.g. a `CallForPaper` instance `cfp` with `cfp.acronym = "BDSDST"` and `cfp.year = 2017` results in an exposed instance `cfp = "BDSDST2017"`. Thus, the MSA must apply a `merge transformation` on the received data to get the merged string.

Hence, attribute values might be derived from other attribute values, which poses a semantical challenge because the data might be fragmented over a distributed software design like MSA, because the underlying concepts are also fragmented.

4.2 Different Understanding of Shared Domain Concepts

As described in Section 2, when designing an MSA with DDD, a common understanding of domain concepts is required. Otherwise different mental representations of domain concepts, e.g. divergent names of semantically equivalent concepts or attributes, might exist. In [Ev04] Evans emphasizes the importance of an explicit *Ubiquitous Domain Language* to prevent different understandings of shared concepts. However, DDD lacks support for formally expressing and maintaining such a language.

For example in Figure 2 the BCs `ConferenceManagement` and `PaperManagement` might have a different mental model for expressing a headline. In `ConferenceManagement` the attribute `name` contains a headline, while in `PaperManagement` the attribute `title` represents a headline. The risk of diverging understandings of semantically equivalent domain concepts increases when begin to implement their Microservices. As MSA explicitly fosters a high degree of team independence, especially regarding implementation decisions, the occurrence of different representations of equivalent concepts becomes more likely over time.

4.3 Distributed semantically equivalent Domain Concepts

Monolithic applications share the same codebase, which results in complex domain models. This results in an increased complexity of domain models as a monolith typically represents a coherent, rather large application, which then is also the case for its underlying domain representation. While MSAs are explicitly decomposed in specialized, distinct domain models following a "divide-and-conquer approach" [Na16]. When designing an MSA these DMs can be associated across multiple independent Microservices with SMs.

In Figure 2 the BC `PaperManagement` has defined an SM `User`, which relates to the DM `User` of the BC `UserManagement`. The DM `Author` of `PaperManagement` is relating to the DM `User` of the BC `UserManagement` through the SM `User` of the BC `PaperManagement`. When sharing data about the user between these Microservices a common approach must be used to identify the same object, e.g. a comprehensive mechanism for generating identifiers must be defined across teams.

5 Integrating Ontologies in Bounded Contexts

In the following we address the three challenges described in Subsection 4.1, 4.2 and 4.3 with a model-based approach that relies on a metamodel, which combines elements of DDD and OWL-based ontology modeling.

A metamodel represents the abstract syntax of a formal modeling language, i. e. it defines the concepts supported by the language and their relationships [FB05]. This abstract syntax provides the basis for a concrete language syntax. However, the definition of a concrete language syntax is beyond the scope of this paper.

The following subsection presents the DDD-related concepts of the metamodel, which is enriched with semantic concepts leveraging the *Conceptual Data Modeling* (CDM) approach in Subsection 5.2.

5.1 A Metamodel for Domain-driven Design of Microservice Architectures

Starting from the domain model depicted in Figure 2 we identify concepts that have to be part of the metamodel for DDD, which is shown in Figure 3. Due to the aspect of team independence, which is an important characteristic of MSA development, our metamodel is intended to model a Microservice instead of the entire software architecture.

As described in Section 2 a BC can be mapped to a specific Microservice. However, it is likely that the modeled Microservice has to interact with other Microservices leveraging certain SMs from these services. Therefore, in our metamodel we distinguish between `ExternalContexts` and `BoundedContexts`. To use DMs that are maintained by other Microservices, these must be modeled as `SharedModels` inside an `ExternalContext`. This allows to define tailored versions of DMs that only comprise those attributes relevant for sharing with other services. For modeling the Bounded Context of the respective Microservice our metamodel comprises the `BoundedContext` concept. `ExternalContext` and `BoundedContext` are derived from `AbstractContext`. Hence both have a `name` for the purpose of distinction from other contexts. Contexts can be nested via the `nestedContexts` association of `AbstractContext`.

For modeling domain concepts we define the `SharedModel` and `DomainModel` concepts in our metamodel. Both concepts inherit from `AbstractModel` and thus contain a `name` attribute for referencing purposes. An `ExternalContext` must comprise at least on `SharedModel`, while a `BoundedContext` has to be associated with at least one `DomainModel`. A `DomainModel` can be defined as abstract, i.e. it might not be instantiated. Inheritance between `DomainModels` is further possible by the parent association.

Furthermore, `SharedModel` and `DomainModel` may have attributes that describe their domain-specific structures and are represented by the `Attribute` concept. An `Attribute` may have a `PrimitiveDataType` assigned to determine its datatype. These attributes are limited to `PrimitiveDataTypes` because relationships between models are expressed via instances of the `Association` concept. Associations can only have a unidirectional relationship to `SharedModel` and `DomainModel` concepts and the multiplicity is expressed by the `min` and `max` attributes of `Association`.

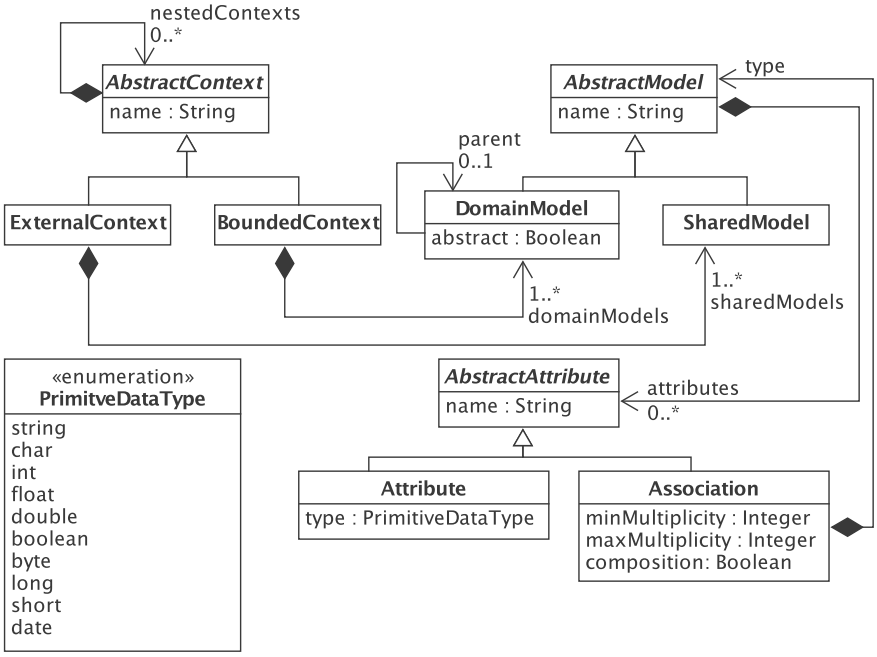


Fig. 3: Metamodel for DDD-based modeling

5.2 Enriching the Metamodel with semantic Capabilities

While the metamodel presented in Subsection 5.1 is designed for modeling an MSA following the principles of DDD, it lacks support for expressing semantical knowledge. To enrich the metamodel with semantic capabilities we distinguished between semantical characteristics of concepts related to models, i.e. `DomainModel` etc., and concepts related to attributes, i.e. `Attribute` etc. models and attributes. Semantic capabilities for model-related concepts are (i) expression of equivalence of distinct models; (ii) disjointness of distinct models; (iii) inheritance of models. For attribute-related the capabilities are composed of (i) inheritance of attributes; (ii) equivalence between distinct attributes.

For expressing semantical knowledge in our metamodel we extended it with a new abstract concept called `DomainConcept` as shown in Figure 4. Concrete instances of `DomainConcept` are `ModelConcept` and `AttributeConcept` which differentiate between semantical concepts of models and attributes to address the model-related as well as attribute-related semantical capabilities. A `DomainConcept` is expressed by a `name`. `ModelConcept` has a relation to `ModelConceptType` as well as `AttributeConcept` relates to a `AttributeConceptType`. With these two ConceptType enumerations the semantical characteristic can be expressed. The

`ModelConcept` relates to exactly two `AbstractModel` instances with the `models` relationship. For semantical expression of attributes the `AttributeConcept` is used, which relates to at least two instances of `AbstractAttribute`. Using the `DomainConcept` and the concrete instances `ModelConcept` and `AttributeConcept` allow the expression of semantical knowledge.

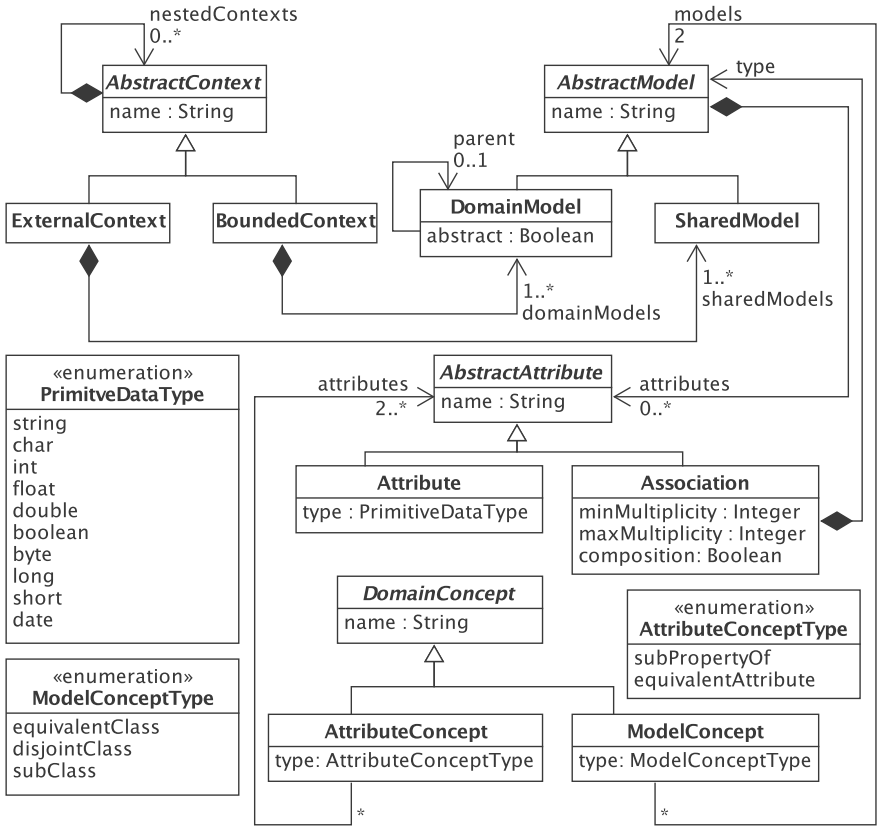


Fig. 4: Metamodel enriched with semantic capabilities through `DomainConcept`

We use the functional-style syntax for expressing ontological concepts in this paper, because it is given as a formal grammar and for describing OWL concepts in W3C Specification [MPSP12]. For expressing semantical knowledge in OWL a set of *axioms*[4] are defined for concepts and properties. In our metamodel these axioms are represented by `ModelConceptType` and `AttributeConceptType`, therefore each `ModelConcept` and `AttributeConcept` must have a `type` associated with `ModelConceptType` or `AttributeCon-`

[4] `https://www.w3.org/TR/2012/REC-owl2-syntax-20121211/#Axioms`

ceptType. Based on this type the relevant OWL-axiom can be derived and used for the semantical representation.

Enriching our DDD-based RMS presented in Figure 2 with semantics following the challenges presented in Section 4. While the challenge described in Subsection 4.1 by business logic through a DDD-based service (cf. Section 2), the challenges presented in Subsection 4.2 and 4.3 can be expressed by DomainConcept instances. Subsection 4.2 can be semantical expressed by an AttributeConcept for the attributes name and title of Conference and CallForPaper from BC ConferenceManagement with type subPropertyOf is modeled. The resulting semantical representation of this challenge in our running example is presented in Listing 2. While the semantical expression that the attributes title of CallForPaper and name of Conference are equivalent is expressed with SubPropertyOf(:title :name), the declaration of classes and properties are derived from the modeled BC. The challenge presented in Subsection 4.3 is expressed as a ModelConcept with type equivalentClass, this represents that the SM User and DM User of BC PaperManagement and UserManagement are equivalent. Therefore, in Listing 2 the corresponding OWL syntax is presented.

```
Declaration( Class( :Conference ) )
Declaration( Class( :CallForPaper ) )
DisjointClasses( :Conference :CallForPaper )

Declaration( DataProperty ( :name ) )
DataPropertyDomain( :name :Conference )
DataPropertyRange( :name xsd:String )

Declaration( DataProperty ( :title ) )
DataPropertyDomain( :title :CallForPaper )
DataPropertyRange( :title xsd:String )

SubPropertyOf( :title :name )
```

List. 1: Expressing equivalent attributes for ConferenceManagement BC

```
Declaration( Class( :User ) )
Declaration( Class( :SM_User ) )
Declaration( Class( :Author ) )
SubClassOf( :User :SM_User )

EquivalentClasses( :SM_User :Author )
```

List. 2: Expressing relationships between classes for PaperManagement BC

With this semantic representation being derived from the modeled MSA leveraging our metamodel, knowledge about the architecture automatically be deduced by reasoners. This

becomes especially useful when exchanging data between different Microservices, e.g. for integrating data with different structure or semantic and without knowledge about the underlying domain-specific concepts.

6 Related Work

To the best of our knowledge no related work for the semantical expression of distributed domain models in the context of MSA exists. Therefore, we divided the related work in the fields of applying ontologies for expressing conceptual models (cf. Subsection 6.1) and modeling Microservice Architectures with DDD (cf. Subsection 6.2).

6.1 Ontologies for expressing Conceptual Models

In [ZD07], an overview of approaches for database-centric Enterprise Integration (EI). Based on the challenge of different mental representations of conceptual models a new approach called *Semantic Integration Reflecting User-specific semantic Perspectives* (SIRUP) is presented. SIRUP addresses the problem of how individual mental domain models can be effectively preintegrated on a conceptual level. Because SIRUP addresses a database-centric scope for integrating data it can not be mapped to software architectures like MSA.

In [Ca09], Calvanese et al. propose an approach for conceptual modeling of data integration called DL-Lite. It uses schemes expressed by UML class diagrams for describing the data structure of a Data Integration System (DIS). While SIRUP focuses on the integration of data on database-level, DL-Lite uses UML class diagrams that are also commonly used for modeling software architectures. While with DL-Lite the data structures can be modeled, it does not support DDD out of the box respective in combination with SMs for an MSA.

In [Ho17], the lack of support for expressing semantics in UML is described. To address this gap, an approach for the transformation of ontologies from OWL to the Eclipse Modeling Framework (EMF)[5] is presented. However, the presented approach is tailored for the domain of space engineering and limited to the Ecore metamodel of EMF.

Another approach to embed semantics in UML diagrams is OntoUML [AG13]. OntoUML is an extension of UML 2.0 and allows the integration of ontologies on a conceptual modeling level. This approach lacks support for modeling an MSA following the DDD approach. Additionally the explicit integration of fragmented classes is not supported.

[5] http://www.eclipse.org/modeling/emf/

6.2 Modeling Microservice Architectures with Domain-driven Design

Based on [LDN16a] that identifies design patterns for Domain-driven Design called *Domain-driven Design Patterns* (DDDP), an approach for a *Domain-Specific Language* (DSL) for expressing domain models with Java annotations is presented in [LDN16b]. This constraints the application of DDDP to annotate a UML class diagram with DDDP DSL. Additionally, DDDP lacks support for expressing semantics of distributed domain models.

7 Conclusion and Future Work

In this paper, we presented an approach that addresses the lack of support for expressing semantic knowledge while modeling MSAs with domain-driven design. Therefore, we first describe the process of designing Microservice Architectures leveraging DDD in Section 2. Next, we introduced a metamodel that supports domain-driven MSA design in combination with semantics (cf. Section 5). Therefore, we distinguished between the external context, that is used for describing domain models of external Microservices, and Bounded Context for designing the Microservice itself. We also introduced the `DomainConcept` concept for expressing semantics in an MSA that is designed using the principles of DDD. As a formally representation of these semantics we use OWL.

In future works we plan to implement generators that produce code for Microservice models based on our metamodel and evaluate our approach by applying it to several real world projects. Next to DM and SM structures, the generated code needs to contain description and verification logic for expressed semantics. We also plan to extend our approach to not only support data integration in the context of MSAs, but also to be applicable beyond the scope of an enclosed software architecture, i.e. when different systems interact with each other.

References

[AG13] Albuquerque, Antognoni; Guizzardi, Giancarlo: An ontological foundation for conceptual modeling datatypes based on semantic reference spaces. In: 7th International Conference on Research Challenges in Information Science (RCIS 2013). IEEE, pp. 1–12, 2013.

[BPD09] Breslin, John G; Passant, Alexandre; Decker, Stefan: The Social Semantic Web. Springer, 2009.

[Ca09] Calvanese, Diego; De Giacomo, Giuseppe; Lembo, Domenico; Lenzerini, Maurizio; Rosati, Riccardo: Conceptual Modeling for Data Integration. In: Conceptual Modeling: Foundations and Applications, pp. 173–197. Springer, 2009.

[Ev04] Evans, Eric: Domain-driven Design. Tackling Complexity in the Heart of Sortware. 2004.

[FB05] Fondement, Frédéric; Baar, Thomas: Making Metamodels Aware of Concrete Syntax. In: Conceptual Modeling: Foundations and Applications, pp. 190–204. Springer, 2005.

[FLM17] Francesco, Paolo; Lago, Patricia; Malavolta, Ivano: Research on Architecting Microservices: Trends, Focus, and Potential for Industrial Adoption. In: International Conference on Software Architecture (ICSA 2017). IEEE, pp. 21–30, 2017.

[Ho17] Hoppe, Tobias; Eisenmann, Harald; Viehl, Alexander; Bringmann, Oliver: Digital Space Systems Engineering through Semantic Data Models. In: International Conference on Software Architecture (ICSA 2017). IEEE, pp. 93–96, 2017.

[LDN16a] Le, Duc Minh; Dang, Duc-Hanh; Nguyen, Viet-Ha: Domain-driven design patterns: A metadata-based approach. In: International Conference on Computing & Communication Technologies, Research, Innovation, and Vision for the Future (RIVF 2016). IEEE, pp. 247–252, 2016.

[LDN16b] Le, Duc Minh; Dang, Duc-Hanh; Nguyen, Viet-Ha: Domain-driven design using meta-attributes: A DSL-based approach. In: 8th International Conference on Knowledge and Systems Engineering (KSE 2016). IEEE, pp. 67–72, 2016.

[MPSP12] Motik, Boris; Patel-Schneider, Peter; Parsia, Bijan: , OWL 2 Web Ontology Language Structural Specification and Functional-Style Syntax, 2012. https://www.w3.org/TR/owl2-syntax/.

[Na16] Nadareishvili, Irakli; Mitra, Ronnie; McLarty, Matt; Amundsen, Mike: Microservice Architecture. O'Reilly, 2016.

[Ne15] Newman, Sam: Building Microservices. O'Reilly, 2015.

[PJ16] Pahl, Claus; Jamshidi, Pooyan: Microservices: A systematic mapping study. In: Proc. of the 6th Int. Conf. on Cloud Computing and Services Science (CLOSER 2016). pp. 137–146, 2016.

[RSZ17] Rademacher, Florian; Sachweh, Sabine; Zündorf, Albert: Differences between Model-Driven Development of Service-Oriented and Microservice Architecture. In: International Conference on Software Architecture Workshops (ICSAW). pp. 38–45, 2017.

[SS09] Staab, Steffen; Studer, Rudi, eds. Handbook on Ontologies. Springer, 2009.

[SvH06] Stuckenschmidt, H.; van Harmelen, F.: Information Sharing on the Semantic Web. Advanced Information and Knowledge Processing. Springer, 2006.

[VC16] Vresk, Tomislav; Cavrak, Igor: Architecture of an interoperable IoT platform based on microservices. In: 39th International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO 2016). IEEE, pp. 1196–1201, 2016.

[Vi15] Villamizar, Mario; Garces, Oscar; Castro, Harold; Verano, Mauricio; Salamanca, Lorena; Casallas, Rubby; Gil, Santiago: Evaluating the monolithic and the microservice architecture pattern to deploy web applications in the cloud. In: 10th Computing Colombian Conference (CCC 2015). IEEE, pp. 583–590, 2015.

[Wo16] Wolff, Eberhard: Microservices: Flexible Software Architecture. 2016.

[YSS17] Yu, Yale; Silveira, Haydn; Sundaram, Max: A microservice based reference architecture model in the context of enterprise architecture. In: IEEE Advanced Information Management, Communicates, Electronic and Automation Control Conference (IMCEC 2016). IEEE, pp. 1856–1860, 2017.

[ZD07] Ziegler, Patrick; Dittrich, Klaus R: Data Integration — Problems, Approaches, and Perspectives. In: Conceptual Modelling in Information Systems Engineering, pp. 39–58. Springer, 2007.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 1793

Responding to the Forecast: Towards the Integration of Machine State Prediction and Required Maintenance Services

Andreas Varwig[1], Friedemann Kammler[2] and Oliver Thomas[3]

Abstract: Machines become increasingly complex. At the same time, more and more sensors are installed and information is gathered in order to enable a close to real-time prediction of a machine's state. Companies try to implement Predictive Maintenance strategies to avoid machine downtimes on a large scale. For this purpose, artificial neural networks are applied more and more often. However, the classification of machine states with artificial neural networks is still not accurate enough. This is partially due to a lack of standards in data processing and in the harmonization of data from different sensor types. We aim to contribute to close these research gaps by developing a standard PM concept for machine and plant manufactures.

Keywords: Predictive Maintenance, Big Data Analytics, Sensor Data Processing, Neural Networks, Automated Diagnostics, Decision Support Systems.

1 Introduction

Machinery is a substantial resource to most industrial manufacturing processes. Especially IT-based manufacturing strategies heavily rely on the proper functioning of the involved machines [Pe07]. Thus, a functional fault - in worst case scenarios a total failure - implies serious problems and causes costs to companies of all sizes and industries. Therefore, the provision of after-sale-services (e.g. maintenance and repair) is a core element of hybrid value creation business models in the engineered products industry [Ro07]. The goal of such services is the preservation and recovery of operations, whilst providing high quality in terms of time, cost and execution. Furthermore, the provision of maintenance services is a means to create new business opportunities and increase overall revenue.

In recent years the amount and the variety of sensory technology implemented in machines has increased considerably. At the same time, a bundle of new production concepts, amongst others the idea of smart factories and close machine-to-machine-communication, have been outlined [La14]. Based on a high degree of sensor and actua-

[1] Universität Osnabrück, Fachgebiet Informationsmanagement und Wirtschaftsinformatik, Katharinenstraße 3, 49074 Osnabrück, andreas.varwig@uos.de
[2] Universität Osnabrück, Fachgebiet Informationsmanagement und Wirtschaftsinformatik, Katharinenstraße 3, 49074 Osnabrück, friedemann.kammler@uos.de
[3] Universität Osnabrück, Fachgebiet Informationsmanagement und Wirtschaftsinformatik, Katharinenstraße 3, 49074 Osnabrück, oliver.thomas@uos.de

doi:10.18420/in2017_178

tor integration, industrial machines should be able to recognize what they produce and provide individual product configurations. However, this newly available sensory information is also suitable for machine error diagnosis and the establishment of Predictive Maintenance (PM) strategies, i.e. proactive maintenance service scheduling in order to avoid machine downtimes. Consequently, IT departments and engineers today have to deal with vast amounts of data, trying to produce structured error information and identifying a distinct cause of malfunctioning by data analysis. One approach, which seems particularly promising in the field of automated sensor data processing for machine and part condition classification is the application of Artificial Neural Networks (ANN). However, some challenges remain to be resolved in order for such a process to reach market maturity. We address the topic of PM from an Information Systems' perspective and outline a concept for the integration of machine diagnostics and maintenance services based on ANN.

The remainder of the paper is structured as follows: In section two, the research gap on ANN-based PM strategies and our research design are described. Following a brief introduction to automated sensor data processing with artificial neural networks, section three provides a summary of ANN applications in PM scenarios. In section four, we describe our current state of research and a use case of an ANN-based PM strategy in a German machine building company. Section 5 concludes with our main findings and provides an outlook on our forthcoming research.

2 Research Gap and Research Design

The practical need for PM concepts is not new. Engineering sciences address this topic since the late 1950s in order to achieve optimized maintenance service cycles. [IV88] provide an early work on PM strategies in the field of Information Systems. Although PM seems to become a more and more effective concept in the improvement of service efficiency and service quality, until today only few actually implemented PM concepts are known. Especially small and medium-sized businesses consider PM still a rather complex mathematical construct. The perceived complexity of PM strategies is fuelled even further by the increased information variety and density from sensor data. Highly individual and sophisticated diagnostic and early warning systems are almost exclusively developed in large enterprises with own departments for research and development [FAU15].

In the context of PM, ANN gain more and more importance. Compared to commonly used statistical forecasting approaches, ANN provide a set of highly dynamic, adaptive and flexible algorithms and procedures. They might even be able to learn and improve themselves from such circumstances. Overall, the application of ANN requires rather few assumptions and data characteristics. They enable, for instance, to process even unsteadily gathered data from different sensor types at the same time and provide robust and highly accurate predictions of condition developments.

However, a major problem and thus a central research gap in automated machine diagnostics is the accuracy of error identification being still too low [HB11], [HT13]. This means, an ANN-diagnostic system might identify an imminent failure, while the machine actually works just fine. This leads to costs due to unnecessary maintenance work and an unnecessary exchange of machine parts. Such false detections can have many causes. For example, faulty data processing during the harmonization of signals of different sensor types could lead to distortions. Furthermore, it is possible that multicollinearity, due to "wanted redundancy" of data, causes estimation errors. Wanted redundancy can arise, for example, by analysing the data of multiple temperature sensors that are located at different positions of a machine. The sensors might show the same values at all times, which causes the data to be fully correlated, but actually they do not provide the same information. Hence, such sensor information should not be removed in data pre-processing.

Another research gap is the often missing link between the understanding of a machine's state and the identification of the appropriate reaction to this state. Besides the analytic and diagnostic components in/on a machine, also the appropriate usage of the gained information needs to be addressed. In order to establish an effective PM strategy, it is not enough to detect failures or the need for maintenance. It is necessary to identify the actually needed service and to provide an IT-infrastructure to directly trigger or schedule this service. Consequently, the current research on PM is highly related to Decision Support Systems, Recommender Systems and the modular service design. In order to develop a robust taxonomy of machine or part conditions and a required maintenance service, which is as comprehensive as possible, findings from these fields of study need to be utilized.

To close the outlined research gaps, we follow an approach based on Design Science Research. In line with the research model of [SvB12], we will divide the individual research gaps into concrete and practical questions and develop prototypes to solve the resulting problems. This applies to possible architectures, data cores and ultimately entire smart recommender systems. The practical application and use of the prototypes and their evaluation is also part of our research agenda.

3 Related Works

3.1 A Brief Introduction to Neural Networks

The first ANNs have been developed in the 1940s. Already in 1943 McCulloch and Pitts describe the concept of solving analytical problems by means of networks of neurons [MP43]. Based on this work, [Ro58] introduced a layer architecture for such networks. This architecture today is referred to as the first Multi-Layer Perceptron (MLP), a network of neurons that can be trained to solve complex nonlinear problems. After a short period of stagnation, [Ko82] presented a new type of neural network that is trained and

conditioned based on so-called self-organizing feature maps (SOM). These SOM networks were the first self-learning networks. They can be used without the initial need for historical data. When [RHW86] presented backpropagation, a learning and training concept, which enabled to model self-improving and recurrent interrelationship detection, the research on ANN ultimately became revitalised again. An ANN enables to transform multidimensional input-information into a certain number of unambiguous output classes and consists of three different areas: An input layer, an output layer and n hidden layers.

Field of Application	Common Inputs	Common Outputs	Advantages	Drawbacks
Supervised training: FFNN				
Sensor data classification without considering external stimuli	Numerical sensor data a usually one category of sensors	Identification of 1 machine state out of a predefined set of allowed states	Low complexity; Fast training; Low computational costs	No identification of new output classes; No instant analysis
Supervised training: RNN				
Sensor data classification in presence of external stimuli	Numerical sensor data	Identification of 1 machine state out of a predefined set of allowed states	Highly flexible interrelationship modelling; Quick response to external stimuli	No identification of new output classes; No instant analysis
Unsupervised training: SOM / ART				
Pattern recognition and determination of different output classes	Digital images, numerical sensor data, mixed sensor information and data formats	Individual, free classification and forecasting with endogenously identified outputs and output classes	Self-learning algorithms	Highly complex; unknown accuracy

Tab. 1: Different types of neural networks and their properties

The actual computing and information processing is carried out in the hidden layers, whereas the number of hidden layers not necessarily is restricted. The hidden layers usually contain an unspecified number of neurons in order to model the impact and interdependencies of all input variables. Thereby an ANN is able to model even complex nonlinear relationships, which is one of the most striking advantages of ANN compared to widely used statistical procedures, for a comparison see [Zo07]. To be used for classi-

fication purposes, an ANN needs to be trained. The kind of training – supervised or unsupervised – and the restrictions on the considered directions of relationships across the individual layers determine the type of an ANN. The training of an ANN is called supervised when the training is carried out whilst the possible output classes and actual outputs are known in advance. In this case, the training procedures are repeated until the cumulated error, i.e. the cumulated difference between the estimated and the actual output values, is below a predefined threshold level. If no backward feedback between the layers is accepted and all layers are processed in sequence during the training, the ANN is referred to as feedforward neural network (FFNN). If bidirectional feedback is possible, a recurrent neural network (RNN) is computed. If no dataset with known results is available for training, unsupervised – self-learning – networks need to be applied. The most important ANNs based on unsupervised learning algorithms are self-organizing feature maps (SOM) and adaptive resonance theory networks (ART), which have been introduced by [Gr76] and [CG87].

The scientific literature on ANN-based PM strategies mostly describes applications of FFNN and RNN. For condition monitoring and diagnostics, this has advantages and disadvantages at the same time. On the one hand, already analysed historical data, including already identified defects and failures needs to be available for network conditioning. This leads to a predefined output cluster structure and enables only to detect already known machine or part conditions in new data. On the other hand, since the networks are conditioned with respect to an acceptable error threshold value, it is possible to measure the accuracy of the ANN. Although the training is faster for a FFNN than for the RNN, due to its abilities to handle more complex environments and to adapt to external stimuli, the latter appears to be preferred in literature. A comparison of FFNN and RNN can be found at [Br12].

Unsupervised trained networks can be applied to problems, where no or rather little information on the actual structure of the outcome of an analysis are known in advance. SOM and ART algorithms endogenously identify the different types of outputs. Hence, they are rather employed to solve clustering problems. For an outline on SOM see [RMD02]. Although this might seem as an advantage in error or failure detection, such approaches can hardly be applied in standardized PM strategies. Since an error or failure that is detected by such an ANN is likely to be unknown to the maintenance management, there is no required service linked to it, yet. Consequently, SOM and ART networks are rather to be used in the definition of a PM system than in the decision support system (DSS) itself.

3.2 Neural Networks in Predictive Maintenance Strategies

For forecasting and data classification purposes, ANN are applied across all industries. Particularly in the engineered products and power supply industries, several approaches have been outlined and application studies have been published. [ALU93] describe a procedure for the condition monitoring of ball bearings based on vibration analysis with

a simple RNN. By analysing data from acoustic sensors, which measured the vibration of the bearings in operation, their network classified the bearing into 1 of 6 predefined conditions. [Ma97] developed a similar approach to monitor the deterioration of Carbon Fibre Reinforced Plastic (CFRP) surfaces, analysing data from temperature sensors with a Bayesian network. Thermal information has also been used in multiple ANN-based condition monitoring approaches on electronic equipment. For instance, [Al09] use a neuro fuzzy network model in order to determine the condition of surge arresters. However, instead of actual thermal sensors, they applied optical, infrared sensors and used the ANN for automated digital image processing and the classification of the parts into 1 of 4 conditions. [SH10] outlined a similar ANN-based model for digital image processing. [HT13] further improved the ANN-based digital image processing for automated condition monitoring by combining a RNN with an input factor selection based on linear discriminant analysis.

Besides using ANN to determine and classify the condition of parts or machines, they can also be used to actually estimate the remaining useful lifetime (RUL) of a machine. Due to their ability to adapt to and handle incomplete data, several studies have found ANN's RUL estimations to be more accurate that classical time series analysis. [SN00], for instance, compare the prediction accuracy of various MLP to ARIMA models and show that, although the estimation based on ANN is more time-consuming, it is by far less erroneous and distorted. In order to speed up ANN-based estimation, [Hu07] presents a self-learning model based on self-organizing feature maps. Their SOM automatically identifies a subset of relevant input information and significantly reduces the time for computing. Furthermore, [MMZ09] outline an approach to model the mechanical wearout of ball bearings and directly estimate its RUL based on a dynamic RNN. ANN can also be applied in PM strategies without being used to directly evaluate conditions or estimate RULs. [Sf03] uses a RNN for the prediction of energy demand within a certain period. Based on the demand forecasts, the expected load on certain parts of an electricity generator is computed. If the expected load indicates the end of lifetime of certain parts, these are to be changed before the demand forecast window begins. In addition, ANN can be used to model and setup entire sensor infrastructures and data collection strategies. [SU03] use an RNN to find the optimal mixture and positions of sensors for the condition monitoring of the cutting tools in face milling operations.

First DSS employing ANN analyses also have already been developed. [Ya01] describe a DSS that implements a condition based maintenance strategy for a planetary gear train within an electricity generator in a power plant. The DSS determines and schedules the optimal time for maintenance activities for this particular type of gears. Similar to this, [Fu04] present an entire maintenance management framework for hydroelectric generators. They use a 4-input ANN to determine the level of degradation of certain generator parts and suggest a maintenance scheme. [Wu07] present a rather economic approach to DSS. They determine a cost-optimal time of service for ball bearings in machines without security-relevant functions. In contrast to the majority of the published studies on PM strategies, the authors do not try to avoid a run-to-failure by all means, but try to compare the expected costs of maintenance to the expected loss from machine down-

times.

4 A Roadmap to Integrated Predictive Maintenance Services

4.1 Overall research agenda

Although multiple PM applications have been described in the literature, a generally applicable approach is yet to be found. This section outlines our research roadmap and presents the tasks, which we regard to be crucial for the establishment of integrated PM services. One central aspect is to analyse, monitor and determine a machines' condition. This is usually done in a three-step procedure. At first, the life cycle of machines or single parts is determined and the drivers of their degradation processes are identified. Secondly, (sensor) data is gathered. And finally, the gathered data is processes by analytic systems in order to evaluate the current conditions.

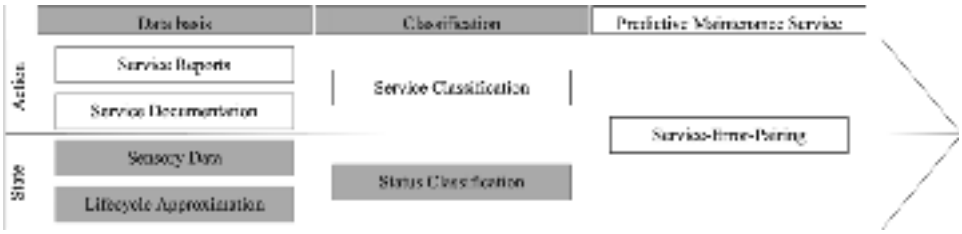


Fig. 1: The Predictive Maintenance service concept

Particularly for the latter purpose, it crucial to determine or develop standard procedures for a) data pre-processing, b) data harmonisation and c) data analysis itself. Hence, it necessary to carry out detailed and structured literature studies across a variety of scientific disciplines and develop and verify analytic artefacts for all these tasks. Regarding the data pre-processing and handling of wanted data redundancy, promising concepts and applications have been described, for instance, in the field of clinical psychology and psychiatry. [Ma14] describe a pragmatic approach to data selection by applying a combined exploratory and confirmatory factor analysis. Modern and powerful approaches to the merging and harmonization of sensor data (data fusion) are currently also addressed in maritime navigation science [SW13]. Regarding the current research on data classification with ANN, particularly studies on Convolutional Neural Networks (CNN) is broadly discussed, see, for instance [Kr12].

However, the sole information on machine conditions and possible failure is not sufficient for the development of integrated maintenance services. Once the condition of a system has been identified, it is necessary to know how to react to it. Therefore, one needs to understand the reasons for the actual classification. Usually, the number of condition classes is limited and subject to certain analytic restrictions. Consequently, a classification into a condition class can be due to a variety of errors and reasons. To

identify the actual problem and the actions and maintenance services that are needed, is the second challenge to be dealt with while setting up a PM strategy. This leads to our twofold research roadmap as shown in Figure 1. To achieve an assignment between states and actions, we suggest the analysis of service reports and documentations. These documents provide valuable information about processed maintenance services, that usually begin with a distinct error and end with a solving service. The gathered information must be filtered and classified for the assignment. For this purpose, a processing by text mining algorithms or natural language processing might be an adequate approach. However, this is to be addressed in later work. As indicated by the highlights in Figure 1, our research currently focusses on the deduction of component lifecycle approximations as first important component of the predictive maintenance concept.

4.2 Our current work and state of research

During our previous research on supporting service processes in machine building companies with mobile devices, we found the density of built-in sensors and the availability of data closely depends on the complexity and actual price of a machine. The implemented sensor types and technologies are mainly determined by the individual architecture of a machine. Although a variety of sensors is integrated into a machine, not all of them can actually be used in the machines condition monitoring. Until today, whole research branches have evolved, analysing the applicability of certain sensor types for material condition diagnostics. Tribology and vibration analysis, for instance, focusses on algorithms and procedures to analyse acoustic sensors. Thereby it is possible to detect irregularities in the operations of bearings or engine cylinders. On the other hand, in order to detect leaks in hidden fuel tanks, optical sensors and algorithms and procedures from thermography or radiography can be used. A short list of different types of sensors, which have been mentioned in the literature on PM is provided in table 2.

Sensor type	Information on	Analysed in
Acoustic	Vibration, kinetic friction	[ALU93], [RB85], [Ge05], [GG06], [Ca12]
Electrical	Electrical current, electrical potential	[YL99], [HB11]
Thermal	Temperature	[Ma97]
Optical	Temperature, material density (radiography)	[La09], [Sm11], [HT13]
Force	Torque, cutting force	[Sw01], [SU01], [HB11]

Tab. 2: Overview of sensor types and their occurrences in literature

In an ongoing research project with a German machine building company, we currently support the development and introduction of a platform for service process digitalization. One objective of this platform is not only to enable online machine condition diagnostics, but also trigger those maintenance services, which are actually needed. All machines to be monitored and managed consist of more than 1000 parts and components which are subject to deterioration. Consequently, an enormous number of sensors is integrated and provides a huge and – with respect to online condition monitoring – mostly unstructured dataset, which requires extensive pre-processing and harmonisation.

In this setting, the implantation of an ANN-based diagnostic mechanism seems particularly promising and reasonable. Currently we develop the architecture for a RNN which is able to handle the complex mass sensor data in order to detect patterns and ultimately determine machine condition types. For this purpose, process and sensor data is already gathered by experts, in order to create an adequate dataset for the ANN's training. Once it is possible to detect the current condition of all monitored machines, the next step is to connect the current status to all currently necessary maintenance services. For determining which services have been carried out under which condition of a machine, historical reports from service technicians will be evaluated. By this connection, it is possible to develop and establish a fully integrated and automated predictive maintenance service management.

Two of the biggest challenges in the implementation currently are 1) determining the optimal positioning and density of sensors and 2) defining the allowed complexity of machine states. These factors determine the quality and granularity of the realizable PM strategy. If it is only possible to detect the imminence of a machine's failure in general, hardly more than a rather general maintenance task can be triggered. Hence, the classification into only few machine states might be insufficient, since those are not unambiguously related to concrete service requirements. Consequently, the insight from additional sensors and increased analytic complexity need to be carefully weight up against increased computing times and actual production costs. The life cycle analysis of the components furthermore indicates the short-term need for spare parts. Hence, another major challenge for a PM system is, not only to recognize the need for maintenance before a problem occurs, but also to recognize and trigger the resulting maintenance needs in time. Since some types of ANN are able to carry out diagnoses close to real-time, this requirement further confirms the impression of ANN being an adequate instrument. Finally yet importantly, the legal perspective needs to be addressed. The precise and complete analysis and monitoring of a machine requires full access to all relevant sensor information. This might cause resistance at machine owners, since an unbounded and steady extraction of production data may be a risk to their core business. An improvement in data security may be approached in multiple ways. On the one hand, IT-security-concepts can be extended to protect the transferred data. On the other hand, a neural network could run as a local application at the machine owner's site. However, this approach decreases the advantages of neural networks learning from failures of all machines, regardless of their operating site. Instead, only data from a single machine could provide sensor patterns that probably lack of evidence.

5 Conclusion and Outlook

The development and implementation of PM concepts and strategies is a promising approach to improve machine reliability, to avoid downtimes and to enable the optimization of maintenance processes and services. Yet, due to the steadily increasing amount and variety of built-in sensors and the resulting mass data, most companies still face a problem of information overload. Although a multitude of data processing concepts already has been applied to condition monitoring and failure forecasting, a standard practice has yet to be found. In this context, particularly ANN have gained importance in recent years. However, the available types of ANN have not been fully evaluated regarding their applicability to machine condition analysis.

The most challenging aspect in the setup of a PM-strategy is the lack of data and information standards in machine condition monitoring. Obviously, there is no such thing as a standard machine, which only consist of standard parts. However, the characteristics and behaviour of standard materials being used to build machine parts already have been studied. Hence, it might be possible to identify a combination of sensors to monitor the deterioration of single parts. Also there is no standard data structure for the collection of historical training data, yet. Another shortcoming we see in the current development of condition monitoring and PM concepts is the strong focus on the processing of sensor data. Although quite powerful text mining algorithms are available, error messages and failure and even service reports, created by service technicians or machine owners, still are mostly ignored in industrial PM applications. Although these reports have not yet been standardized either, we suspect major insights and valuable information to be hidden in this data. Hence, we strongly recommend the development of concepts for the harmonization of sensor data and data created by experts.

Finally, advanced analytic mechanisms for diagnostics are just one puzzle piece in a PM strategy. Once failures or critical conditions have been diagnosed, it becomes necessary a) to detect the actual root cause of the problem that is about to occur, b) to identify the adequate maintenance service for this problem, c) to schedule the service and d) to monitor and analyse the post service system conditions. Consequently, if an appropriate analytic system has been developed, the required research has just begun.

References

[ALU93] Alguindigue, I. E.; Loskiewicz-Buczak, A. and Uhrig, R. E. 1993. “Monitoring and diagnosis of rolling element bearings using artificial neural networks”, IEEE Transactions on Industrial Electronics (40:2), pp. 209–217.

[Al09] Almeida, C. A. L.; Braga, A. P.; Nascimento, S.; Paiva, V.; Martins, H. J. A.; Torres, R. and Caminhas, W. M. 2009. “Intelligent Thermographic Diagnostic Applied to Surge Arresters: A New Approach”, IEEE Transactions on Power Delivery (24:2), pp. 751–757.

[Br12] Brezak, D.; Bacek, T.; Majetic, D.; Kasac, J. and Novakovic, B. 2012. "A comparison of feed-forward and recurrent neural networks in time series forecasting", IEEE Conference on Computational Intelligence for Financial Engineering & Economics (CIFEr), pp. 1–6.

[Ca05] Carnero, M. C. 2005. "Selection of diagnostic techniques and instrumentation in a predictive maintenance program. A case study", Decision Support Systems (38:4), pp. 539–555.

[CG87] Carpenter, G. A. and Grossberg, S. 1987. "A massively parallel architecture for a self-organizing neural pattern recognition machine", Computer Vision, Graphics, and Image Processing (37:1), pp. 54–115.

[Ca12] Cartella, F.; Liu, T.; Meganck, S.; Lemeire, J. and Sahli, H. 2012. "Online adaptive learning of Left-Right Continuous HMM for bearings condition assessment", Journal of Physics: Conference Series (364), p. 12031.

[Fu04] Fu, C.; Ye, L.; Liu, Y.; Yu, R.; Iung, B.; Cheng, Y. and Zeng, Y. 2004. "Predictive Maintenance in Intelligent-Control-Maintenance-Management System for Hydroelectric Generating Unit", IEEE Transactions on Energy Conversion (19:1), pp. 179–186.

[FAU15] Furtak, S.; Avital, M. and Ulslev Pedersen, R. 2015. "Sensing the Future: Designing Predictive Analytics with Sensor Technologies", in 23rd European Conference on Information Systems (ECIS) 2015.

[GG06] Gebraeel, N. and Gebraeel, N. 2006. "Sensory-Updated Residual Life Distributions for Components with Exponential Degradation Patterns", IEEE Transactions on Automation Science and Engineering (3:4), pp. 382–393.

[Ge05] Gebraeel, N. Z.; Lawley, M. A., Li, R. and Ryan, J. K. 2005. "Residual-life distributions from component degradation signals: A Bayesian approach", IIE Transactions (37:6), pp. 543–557.

[Gr76] Grossberg, S. 1976. "Adaptive pattern classification and universal recoding: I. Parallel development and coding of neural feature detectors", Biological Cybernetics (23:3), pp. 121–134.

[HB11] Hashemian, H. M. and Bean, W. C. 2011. "State-of-the-Art Predictive Maintenance Techniques", IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement (60:10), pp. 3480–3492.

[He04] Hevner, A. R.; March, S. T.; Park, J. and Ram, S. 2004. "Design science in information systems research", MIS quarterly (28:1), pp. 75–105.

[Hu07] Huang, R.; Xi, L.; Li, X.; Richard Liu, C.; Qiu, H. and Lee, J. 2007. "Residual life predictions for ball bearings based on self-organizing map and back propagation neural network methods", Mechanical Systems and Signal Processing (21:1), pp. 193–207.

[HT13] Huda, A. S. N. and Taib, S. 2013. "Application of infrared thermography for predictive/preventive maintenance of thermal defect in electrical equipment", Applied Thermal Engineering (61:2), pp. 220–227.

[IV88] Ives, B. and Vitale, M. R. 1988. "After the Sale: Leveraging Maintenance with Information Technology", MIS Quarterly (12:1), pp. 7–21.

[Ko82] Kohonen, T. 1982. “Self-organized formation of topologically correct feature maps”, Biological Cybernetics (43:1), pp. 59–69.

[Kr12] Krizhevsky, A.; Sutskever, I. and Hinton, G. E., 2012. “Imagenet classification with deep convolutional neural networks.”, Advances in neural information processing systems, pp. 1097-1105.

[La14] Lasi, H.; Fettke, P.; Kemper, H.-G.; Feld, T. and Hoffmann, M. 2014. “Industry 4.0”, Business & Information Systems Engineering (6:4), pp. 239–242.

[Ma97] Manduchi, G.; Marinetti, S.; Bison, P. and Grinzato, E. 1997. “Application of neural network computing to thermal non-destructive evaluation”, Neural Computing & Applications (6:3), pp. 148–157.

[Ma14] Marsh, H. W.; Morin, A. J. S.; Parker, P. D. and Kaur, G. 2014 “Exploratory Structural Equation Modeling: An Integration of the Best Features of Exploratory and Confirmatory Factor Analysis”, Annu. Rev. Clin. Psychol., Bd. 10, Nr. 1, pp. 85–110, March 2014.

[MP43] McCulloch, W. S. and Pitts, W. 1943. “A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity”, Bulletin of Mathematical Biophysics (5), pp. 115–133.

[MMZ09] Medjaher, K.; Moya, J.-Y. and Zerhouni, N. 2009. “Failure prognostic by using dynamic Bayesian Networks.”, in 2nd IFAC Workshop on Dependable Control of Discrete Systems, DCDS’09. (Vol. 1), IFAC, pp. 291–296.

[Pe07] Persona, A.; Regattieri, A.; Pham, H. and Battini, D. 2007. “Remote control and maintenance outsourcing networks and its applications in supply chain management”, Journal of Operations Management (25:6), pp. 1275–1291.

[RMD02] Rauber, A.; Merkl, D. and Dittenbach, M. 2002. “The growing hierarchical self-organizing map: exploratory analysis of high-dimensional data”, IEEE Transactions on Neural Networks (13:6), pp. 1331–1341.

[RB85] Renwick, J. T. and Babson, P. E. 1985. “Vibration Analysis—A Proven Technique as a Predictive Maintenance Tool”, Industry Applications, IEEE Transactions on (2), pp. 324–332.

[Ro14] Roland Berger. 2014. “Evolution of service: Capturing value pockets in the service business”, (available at http://www.rolandberger.de/media/pdf/Roland_Berger_taC_Evolution_of_Service_2014 0107pdf).

[Ro58] Rosenblatt, F. 1958. “The perceptron: A probabilistic model for information storage and organization in the brain.”, Psychological Review (65:6), pp. 386–408.

[RHW86] Rumelhart, D. E.; Hinton, G. E. and Williams, R. J. 1986. “Learning representations by back-propagating errors”, Nature (323:6088), pp. 533–536.

[SU03] Saglam, H. and Unuvar, A. 2003. “Tool condition monitoring in milling based on cutting forces by a neural network”, International Journal of Production Research (41:7), pp. 1519–1532.

[Sf03] Sfetsos, A. 2003. “Short-term load forecasting with a hybrid clustering algorithm”, in Generation, Transmission and Distribution, IEE Proceedings- (Vol. 150), IET, pp. 257–262.

[SH10] Shafi, M. A. and Hamzah, N. 2010. “Internal fault classification using artificial neural net-work”, in Power Engineering and Optimization Conference (PEOCO), 2010 4th International, IEEE, pp. 352–357.

[SN00] Shao, Y. and Nezu, K. 2000. “Prognosis of remaining bearing life using neural networks”, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part I: Journal of Systems and Control Engineering (214:3), pp. 217–230.

[Sm11] Smet, V.; Forest, F.; Huselstein, J.-J.; Richardeau, F.; Khatir, Z.; Lefebvre, S. and Berkani, M. 2011. “Ageing and Failure Modes of IGBT Modules in High-Temperature Power Cy-cling”, IEEE Transactions on Industrial Electronics (58:10), pp. 4931–4941.

[SvB12] Sonnenberg, C. and vom Brocke, J., 2012. “Evaluations in the science of the artificial–reconsidering the build-evaluate pattern in design science research”, in: International Conference on Design Science Research in Information Systems. Springer, pp. 381–397.

[SW13] Stateczny, A. and Witold, K., 2013. “Sensor data fusion in inland navigation.” 2013 14th Inter-national Radar Symposium (IRS). Vol. 1. IEEE, pp. 264-269.

[Sw01] Swanson, D. C. 2001. “A general prognostic tracking algorithm for predictive maintenance”, (Vol. 6), IEEE, pp. 2971–2977.

[Wa02] Wang, H. 2002. “A survey of maintenance policies of deteriorating systems”, European journal of operational research (139:3), pp. 469–489.

[Wu07] Wu, S.; Gebraeel, N.; Lawley, M. A. and Yih, Y. 2007. “A Neural Network Integrated Decision Support System for Condition-Based Optimal Predictive Maintenance Policy”, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics - Part A: Systems and Humans (37:2), pp. 226–236.

[Ya01] Yam, R. C. M.; Tse, P. W.; Li, L. and Tu, P. 2001. “Intelligent Predictive Decision Support System for Condition-Based Maintenance”, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology (17:5), pp. 383–391.

[YL99] Yang, S. K. and Liu, T. S. 1999. “State estimation for predictive maintenance using Kalman filter”, Reliability Engineering & System Safety (66:1), pp. 29–39.

[Zo07] Zou, H. F.; Xia, G. P.; Yang, F. T. and Wang, H. Y. 2007. “An investigation and comparison of artificial neural network and time series models for Chinese food grain price forecasting”, Neurocomputing (70:16–18), pp. 2913–2923.

Digitaler Journalismus (in postfaktischen Zeiten)

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 1809

Vorwort Workshop 28 - „Digitaler Journalismus (in postfaktischen Zeiten)“

Rainer Lutze[1]

Der Vorwurf oder die Möglichkeit von *»Fake News«,* also der vorsätzlichen Falschmeldung mit der Absicht, eine bestimmte *politische* oder *wirtschaftliche Wirkung* durch die Verbreitung einer Nachricht zu erreichen, ist zu einem bestimmenden Faktor der aktuellen gesellschaftlichen Diskussion über Journalismus geworden. Dabei gerät die Frage in den Hintergrund, welche neuen technisch/organisatorischen Mittel und Formate der Journalismus im Zeitalter der Digitalisierung hat, um *sui generis* glaubwürdigere journalistische Produkte zu erschaffen. Der Workshop „digitaler Journalismus“ fokussiert sich auf die unterschiedlichen Antworten auf diese Frage.

In dem Übersichtsbeitrag von Markus Kaiser, **„Virtual Reality, Live-Streaming & Co.: Wie digitaler Journalismus zu mehr Authentizität beiträgt“**, wird das Potenzial neuer Endgeräte, aber auch der durch diese Endgeräte möglichen neuen Inhaltsformate näher beleuchtet. Anspruch ist dabei, dass der Rezipient die Authentizität des Berichteten besser und leichter als bei einem klassischen linearen Text verifizieren kann. In dem Beitrag von Rainer Lutze und Michael Strzodka, **„Authentische Berichterstattung in einem journalistischen Mitmach-Medium“,** wird ein Reportagesystem für den Bürgerjournalismus vorgestellt, das neben anderen qualitätssichernden Filtermechanismen gewährleistet, dass nur *Augenzeugen* zu einem Geschehen darüber berichten können. Der Beitrag von Hendrik Bortels und Nico Adam, **„Klasse statt Masse statt Klasse“,** schlägt aus einer scharfsinnigen Analyse der heutigen Ist-Situation der Tageszeitungen in Print und Online ein Konzept vor, wie Tageszeitungen ihren Markenkern „Glaubwürdigkeit“ mit neuen Inhaltsformaten besser und nachhaltiger als bisher zu ihren Lesern transportieren können. Im Beitrag vom Thomas H. Kaspar, „**Intelligent Content im Publishing 4.0“,** werden die Vorzüge des Konzeptes für eine *Begleitung des Nutzers* näher analysiert. Die tiefe Strukturierung des *Intelligent Content* in unabhängige Komponenten ermöglicht nicht nur eine Verifikation der Komponenten nach dem „Mehr-Augen-Prinzip“ schon während der Inhaltserstellung. Durch die vielfältigen, inhärenten Metadaten der Inhalte zur ihrer Entstehung und Verwendung wird insbesondere eine maschinelle Glaubwürdigkeitsprüfung möglich. Auch der Beitrag von Lorenz Matzat, **„Automatisierte Personalisierung im Lokaljournalismus“,** fordert eine wesentlich höhere Granularität von Artikeln als bisher und beleuchtet dabei das Potenzial des Datenjournalismus für authentische Nachrichteninhalte. Einzelne Nachrichtenelemente werden aus algorithmisch regelmäßig ausgewerteten Datenquellen (etwa den Sensoren einer *Smart City)* generiert. Sie werden abhängig von dem

[1] **Dr.-Ing. Rainer Lutze Consulting,** Wachtlerhof, Wilhermsdorfer Str. 14, 90579 Langenzenn, rainer.lutze@lustcon.eu

doi:10.18420/in2017_179

persönlichen Interessensprofil des Nutzers zu einem individuell relevanten Nachrichtenportfolio zusammengefügt.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 1811

Virtual Reality, Live-Streaming & Co.: Wie digitaler Journalismus zu mehr Authentizität beiträgt

Markus Kaiser[1]

Abstract: Im digitalen Journalismus entstehen neue journalistische Darstellungsformen und Erzählweisen. Diese nutzen all ihre Möglichkeiten wie Multimedia-Storys, Datenjournalismus, Newsgames, Virtual sowie Augmented Reality und Chat-Bots erst allmählich aus. In diesem Beitrag wird beschrieben, wie neue Medienformate dank technischer Entwicklungen etabliert werden und wie diese zu mehr Authentizität im Journalismus beitragen können. Auch neue Endgeräte wie Datenbrillen, Medien im Auto und in Möbeln sorgen für neue Anforderungen an ein journalistisches Storytelling.

Keywords: Digitaler Journalismus, Virtual Reality, Augmented Reality, 360-Grad-Videos, immersive Medien, Newsgames, Automotive, Medieninnovationen, Künstliche Intelligenz

1 Einleitung

Die ersten journalistischen Internetseiten waren textbasiert. Als „Spiegel online“ am 25. Oktober 1994 als redaktionelles Web-Angebot des gedruckten Magazins „Der Spiegel“ gegründet worden war, war es das weltweit erste Nachrichtenmagazin im Internet. Die damalige Website hat mit der heutigen so gut wie nichts mehr gemein: Damals stellte die Redaktion eine Auswahl an Print-Beiträgen online, heute produziert eine eigene Redaktion in Text, Bild, Video und Infografiken für www.spiegel.de. Der digitale Journalismus, der anfangs noch als „Internetjournalismus“ (zum Beispiel im gleichnamigen UVK-Lehrbuch von Klaus Meier aus dem Jahr 1998) und später als „Online-Journalismus“ (wie im gleichnamigen SpringerVS-Lehrbuch von Gabriele Hooffacker aus dem Jahr 2000) bezeichnet worden ist, hat sich vom Printjournalismus emanzipiert.

Die Ausspielkanäle haben sich verändert und verändern sich immer noch stark weiter: Im Fokus der Redaktionen liegt nicht mehr die Aufbereitung der journalistischen Inhalte für den stationären Personalcomputer oder für den Laptop, sondern vielmehr für mobile Endgeräte wie Tablets, aber allen voran Smartphones. Schließlich erfolgt mit 49 Prozent fast die Hälfte der Online-Nutzung über Smartphones bzw. Handys, wie die ARD/ZDF-Onlinestudie für das Jahr 2016 herausgefunden hat.[2] Die Tendenz der mobilen Nutzung ist seit Jahren steigend. Prinzipien wie „online first“, also die redaktionelle Planung zunächst für das Internet und anschließend als eine Art „Best of“ für die gedruckte Tageszeitung, bzw. „mobile first“, in der beim responsive Design die Darstellung auf

[1] Prof. Markus Kaiser, Technische Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm, markus.kaiser@online.de
[2] vgl. http://ard-zdf-onlinestudie.de/index.php?id=557 (abgerufen am 29.6.2017)

doi:10.18420/in2017_180

Smartphones Vorrang hat, setzen sich immer stärker durch.[3] Redaktionssysteme im Print und Online werden immer häufiger zusammengefasst, damit Journalisten für die verschiedenen Medien arbeiten können. Häufig recherchieren Journalisten nicht mehr nur vor Ort, sondern sie produzieren bereits ihre Beiträge, was als *Mobile reporting* bezeichnet wird. Im öffentlich-rechtlichen Rundfunk wird trimedial gearbeitet für Hörfunk, Fernsehen und Online. Neben der eigenen Website spielen Social-Media-Kanäle wie Facebook, Twitter und zuletzt stark ansteigend Instagram sowie Snapchat bei einer sehr jungen Zielgruppe eine bedeutende Rolle, um als Medienmarke mit seiner Zielgruppe in Kontakt zu treten.

Doch auch die Endgeräte werden sich weiter wandeln: Längst spielt Hardware für immersive Medieninhalte (wie Virtual Reality zum Beispiel mit der HTC Vive oder einfacher Cardboards und Augmented Reality mit der HoloLens von Microsoft) auch für den Journalismus eine Rolle. Daneben wird vermutet, dass das Auto spätestens im Zeitalter des hochautomatisierten Fahrens zu einem Medienzentrum der Zukunft wird, mutmaßlich mit VR- bzw. AR-Inhalten in die Fensterscheiben eingeblendet. Im Zuge des fortschreitenden Internet der Dinge können auch Möbel, wie der Badezimmerspiegel, als Ausspielkanal für journalistische Inhalte dienen. Und sogar an Kontaktlinsen, die Informationen einblenden, wird geforscht.

Doch selbst auf dem Computer, Laptop, Tablet und Smartphone haben sich die journalistischen Darstellungsformen verändert. Längst ist das Internet kein textbasiertes Medium mehr. *Data-driven journalism* (Datenjournalismus), interaktive Grafiken, Newsgames, Multimediales Storytelling als Onepager (Scrollytelling), Social Media, Live-Berichterstattung durch Live-Ticker oder Live-Streaming, Audio-Slideshows und vor allem Videos dank Plattformen wie YouTube (der nach Google weltweit zweitgrößten Suchmaschine), Vimeo und im Gamesbereich Twitch prägen das heutige Bild des digitalen Journalismus.[4] Auch Videos von 360-Grad-Kameras werden von Redaktionen inzwischen hergestellt, um eine größere Immersion zu erzeugen.

Dieser Beitrag versucht anhand der These, dass jedes neue Medium zunächst ein bestehendes abbildet und erst später seine eigenen Erzählformen findet, aufzuzeigen, wie sich der digitale Journalismus gewandelt hat und in den nächsten Jahren stetig weitere neue Formen ausbilden wird. Außerdem wird der Frage nachgegangen, wie digitaler Journalismus zu mehr Authentizität beitragen kann.

---

[3] vgl. http://journalistikon.de/online-first/ (abgerufen am 29.6.2017)

[4] Eine Übersicht über neue journalistische Darstellungsformen im digitalen Journalismus gibt das Buch [Ka15a]

2 Der Wandel der journalistischen Erzählweisen

Wenn neue (digitale) Medien aufkommen, bilden sie zunächst die bekannten journalistischen Darstellungsformen ab. Erst Stück für Stück emanzipieren sie sich von den traditionellen Medien und bilden für sie typisches Erzählformen heraus. Hier stehen wir bei digitalen Medien noch am Anfang, unter anderem was Storytelling und Interaktivität in nicht-fiktionalen Formaten betrifft. Fiktionale Medien wie Games sind naturgemäß deutlich weiter. Neben Kreativität liegt der Schlüssel für die Entwicklung eines neuen Mediums in der fortschreitenden Digitalisierung (zum Beispiel Breitbandausbau, Leistung von Computern und Smartphones) und einer auch für Journalisten einfach zu bedienenden Software. Nur durch günstige und einfach verständliche Programme werden neue journalistische Darstellungsformen (wie Multimedia-Storys oder Datenjournalismus) in der Breite in Redaktionen eingesetzt. Schließlich ist die Arbeitszeitverdichtung in Redaktionen in den vergangenen Jahrzehnten stetig gewachsen, und Geschäftsführungen achten bei Investments verstärkt auf die potenzielle baldige Refinanzierung.

2.1 Gilt das Riepl‘sche Gesetz weiter?

Wolfgang Riepl, früherer Chefredakteur der „Nürnberger Zeitung“, hat im Jahr 1913 ein Buch zum „Nachrichtenwesen im Altertum“ verfasst. Die These, dass kein neues Medium ein altes Medium verdrängt, gilt posthum als „Riepl‘sches Gesetz“ und wird bis heute in der Kommunikationswissenschaft vielfach und stark diskutiert:

„Andererseits ergibt sich gewissermassen als ein Grundgesetz der Entwicklung des Nachrichtenwesens, dass die einfachsten Mittel, Formen und Methoden, wenn sie nur einmal eingebürgert und brauchbar befunden worden sind, auch von den vollkommensten und höchst entwickelten niemals wieder gänzlich und dauernd verdrängt und ausser Gebrauch gesetzt werden können, sondern sich neben diesen erhalten, nur dass sie genötigt werden, andere Aufgaben und Verwertungsgebiete aufzusuchen.“[5]

Riepl hat seine Aussagen natürlich nicht für Radio, Fernsehen, Internet und Virtual Reality formuliert, sondern über antike Nachrichtenübertragungsformen bis hin zum Telegraphenmasten. Immer wenn ein neues Medium entstand, wurde das „Riepl’sche Gesetz“ aber wieder aufs Neue herausgekramt und diskutiert: Warum sollte jemand noch ein Buch oder eine Tageszeitung lesen, wenn er sich die Nachrichten auch im Radio vorlesen lassen kann? Welchen Vorteil hat Hörfunk noch, wenn im Fernsehen doch zusätzlich zum Audio noch visuelle Elemente hinzukommen? Und wozu braucht es noch gedruckte Medien und klassischen Rundfunk, wenn doch aufgrund der Medienkonvergenz im Internet als einer Art „Über-Medium“ alle bisher bekannten Formate wie Text, Bild, Audio und Video zusammenfließen und zusätzlich noch beliebig kombiniert werden

[5] zitiert nach Meier, Urs: 100 Jahre Riepl’sches Gesetz, in: [KKN14], S. 12.

können?

Die Antwort hatte Riepl damals geliefert: Die bestehenden Medien mussten sich wandeln und andere Aufgaben wahrnehmen. Aber auch die neuen Medien mussten erst lernen, wie sie journalistische Informationen dank der neuen Möglichkeiten transportieren konnten. Anfangs wurden im Radio nur Nachrichten vorgelesen, ohne die Möglichkeiten des Tons vollständig auszunutzen. Erst allmählich wurden in Radio-Features auch Klangelemente, Hintergrundgeräusche oder für das Thema typische Akustik eingebaut. Während in den USA das Feature als Stilform bereits im 19. Jahrhundert Verbreitung fand, hat sich der Begriff im deutschsprachigen Raum erst nach dem Zweiten Weltkrieg herausgebildet: Er wird im Hörfunk für gebaute, mit Archivmaterial und Originaltönen (O-Töne) angereicherte Beiträge genutzt.[6]

Im Fernsehen wurden anfangs die visuellen Möglichkeiten noch kaum beachtet, geschweige denn ausgeschöpft. Und die Internetseiten der Verlage glichen Ende der 1990er Jahre noch mehr einer schlecht gemachten Zeitung als den heutigen häufig multimedialen Nachrichten-Websites. Schließlich wurde auf die Spezifika der mobilen Endgeräte zunächst ebenfalls nicht eingegangen. Es folgten in Deutschland teilweise erst seit wenigen Jahren responsive Design sowie angepasste Funktionen, die dank der aktuellen Lokalisierung des Users genutzt werden können.

Während sich das Storytelling und die Funktionen der neuen Medien stets gewandelt haben und wandeln, haben sich auch die länger etablierten Medien verändert: Die Tageszeitung hat sich von einem Nachrichten- verstärkt zu einem Hintergrundmedium gewandelt. Es wird vermehrt auf Hintergrundberichte, Reportagen, Features, längere Interviews und Dossiers gesetzt. Die „Süddeutsche Zeitung“ war eine der ersten Tageszeitungen, die ihr Konzept vorrangig in der Wochenendausgabe umgestellt hat. Die Auflagenerfolge der Wochenzeitung „Zeit“ beweisen ebenfalls, dass gedruckte Medien heute vor allem mit Hintergrund funktionieren.

Das „Riepl’sche“ Gesetz ist aber nicht unumstritten. Es wird vorgehalten, dass durch digitale Inhalte analoge Angebote durchaus vom Markt verschwinden könnten. Schließlich gingen – so deren Argumentation – alle traditionellen Medien im Internet auf und könnten darüber abgespielt bzw. konsumiert werden. Dem wird (zum Beispiel von Seiten der Druckindustrie) entgegengehalten, dass gedruckte Medien dank ihrer Haptik etwas bieten, was durch Smartphones und Tablets nicht zu ersetzen ist. Das klassische Radio erhofft sich eine Überlebenschance als „Nebenbei-Medium“, das deshalb (wie es zum Beispiel Stefan Grundler vom Funkhaus Nürnberg gerne ausdrückt) nicht so stark durch den Medienwandel unter Druck gerate wie die Zeitung oder das Fernsehen.

Für neue Medienausspielkanäle wie Virtual-Reality-Brillen, im Auto der Zukunft, in Wearables wie womöglich sogar smarten Kontaktlinsen (abgesehen von erfolglosen Daten-Uhren wie der AppleWatch) oder im Haushalt in Möbeln und diversen Endgeräten

[6] vgl. [WKP05], S. 408.

müssen erst noch auf das spezifische Medium angepasste journalistische Darstellungsformen, Medienformate und ein adäquates Storytelling entwickelt werden. Außerdem sind hier Programmierlösungen gefordert, um das responsive Design auf künftig völlig neuartige Ausspielkanäle zu erweitern.

2.2 Neue Formate und Storytelling für neue Ausspielkanäle

Neue journalistische Darstellungsformen setzen sich im digitalen Journalismus zunächst immer erst schleppend durch. Dies liegt an den zunächst hohen und nicht refinanzierbaren Kosten für die Programmierung. Heute funktionieren journalistische Projekte nur noch im Dreiklang aus Journalismus, Programmierung und Design, während in analogen Zeiten die IT lediglich noch bei Computerproblemen und beim Aufspielen von Programm-Updates gefordert war, nachdem sie das Redaktionssystem einmal aufgesetzt hatte. „Snow Fall" von der „New York Times" aus dem Jahr 2012, was als weltweit erste Multimedia-Story anerkannt wird, soll nach verschiedenen Angaben bis zu einer Million US-Dollar gekostet haben. Erst durch die Entwicklung von zum Teil Open-Source-Software wie Pageflow (WDR) oder Linius (Bayerischer Rundfunk) kam es zu einem Durchbruch der multimedialen Formate. Im Datenjournalismus zeigte sich ein ähnliches Bild: Als Software (wie zum Beispiel der Datawrapper) frei bzw. kostengünstig verfügbar war, konnten auch Lokalredaktionen Projekte in diesem Feld angehen. Ohne der Möglichkeit, mit Smartphone-Apps wie zunächst Meerkat und später Periscope bzw. Facebook Live live zu streamen, hätte sich diese Form nicht durchsetzen können.

Dies zeigt, wie abhängig der Journalismus, aber auch die Unternehmenskommunikation, von einfach zu bedienenden und kostengünstigen Software-Angeboten ist. Noch fehlen zum Beispiel für Virtual-Reality-Anwendungen und Newsgames diese Programme. Dies führt dazu, dass diese neuen Formate noch nicht in der Breite zu finden sind und sich durch das Austesten auch noch keine spezifischen Erzählformen und journalistischen Regularien herausgebildet haben. An der Technischen Hochschule Nürnberg wird beispielsweise erforscht, aus welcher Perspektive VR-Storys erzählt werden sollten (aus der eines Protagonisten oder als User neben dem Protagonisten stehend), wie die Szenen aneinandergeschnitten werden müssen, wie User Orientierung erhalten, wohin sie im 360-Grad-Screen blicken müssen (zum Beispiel durch Audio-Elemente) und wie Interaktion möglich ist (was im fiktionalen Bereich bei Games den Kern der VR-Inhalte darstellt).

Entscheidend ist bei all den zunehmenden technischen Möglichkeiten für Journalisten aber, sich zunächst das Thema zu überlegen und von diesem ausgehend die passende Erzählform zu wählen. Dies kann dann auch im digitalen Journalismus ein klassischer Text sein. Letztlich bietet der Baukasten von Audio-Slideshows und Videos über interaktive Grafiken und zoombare Stadt- bzw. Landkarten bis hin zu VR, AR und Newsgames heute eine Fülle an Möglichkeiten. Die Auswahl fällt umso schwerer, da sich in vielen neuen digitalen Medien noch keine Standards für Storytelling herausgebildet haben.

So wird Virtual Reality im Journalismus weitgehend verwendet, um an die Erzählformen

von klassischen Fernsehbeiträgen anzuknüpfen. Der 360-Grad-Rundum-Blick wird nur selten genutzt. Häufiger wird sogar infrage gestellt, ob in 360-Grad- oder nicht doch eher in 180-Grad-Videos die Zukunft liege.

Noch mehr stellt sich künftig die Frage, wie digitale Medien im gesamten Haushalt von der Küche bis zum Bade- und Schlafzimmer, im gesamten Stadtbild und im Auto genutzt werden. Gerade das hochautomatisierte Fahrzeug bietet hier vielfältige Möglichkeiten der Mediennutzung: Zum einen hat neben den Mitfahrern der bisherige Fahrzeuglenker auch Zeit, Medien von Filmen über Games bis hin zu journalistischen Inhalten und Werbung zu konsumieren. Zum anderen können vor allem lokale Informationen sowie local-based Services an Bedeutung gewinnen.

Einzig erfolgversprechend erscheint es, wenn im Auto die gewohnte Medienumgebung vorhanden ist und trotz Safety- und Security-Aspekten kein geschlossenes System von der Automobilindustrie gebaut wird. Schließlich wollen Nutzer (ähnlich wie durch Clouds vom selben Smartphone-, Tablet- und Desktop-Account) ihre Programme und Medieninhalte vernetzt weiter nutzen. Die Fernsehreportage, die man abends auf dem Fernseher zu schauen begann und am Frühstückstisch per Tablet wieder aufrief, will man an genau der Stelle im Auto weiter sehen, an der man unterbrochen hat.

Während auf Medienkongressen im Jahr 2016 das Thema Virtual Reality dominiert hatte, spielen in diesem Jahr Künstliche Intelligenz und Chat-Bots eine bedeutende Rolle in der Medienbranche. Apps wie Resi[7], die in Dialogform Nachrichten anbietet, oder Amazons Alexa stehen in den Anfängen und ermöglichen es auch Journalisten, auf ganz andere Weise Geschichten zu erzählen.

3 Warum der Journalismus authentischer werden kann

Im Journalismus wird zwischen informierenden bzw. referierenden (zum Beispiel Nachricht, Bericht, Feature und Reportage) und kommentierenden bzw. meinungsbetonten Darstellungsformen (zum Beispiel Kommentar, Leitartikel, Glosse und Rezension) unterschieden. Das bedeutet, dass in Formen wie Nachricht und Reportage die Meinung des Autors nichts verloren hat. In einem Porträt beispielsweise wird ebenfalls nicht wiedergegeben, wie der Journalist zu der porträtierten Person steht (außer in Kommentarporträts, die häufig auf Meinungsseiten in Tageszeitungen oder in Magazinen zu finden sind), sondern wie andere Personen diese Person sehen, wie beliebt oder angesehen zum Beispiel der Parteivorsitzende innerhalb des Parteivorstands, der Fraktion, an der Basis, bei anderen Parteien oder in der Bevölkerung ist.

Keine eigene Meinung zu äußern, bedeutet aber nicht, dass es im so genannten objektiven Journalismus keine Subjektivität gibt. Schließlich ist die Auswahl der objektiv nachprüfbaren Fakten (Sachverhaltsebene) Aufgabe des Journalisten. Ebenso trifft er die

[7] siehe http://www.resiapp.io/ (abgerufen am 25.6.2017)

Entscheidung, über welche Themen berichtet oder eine Reportage verfasst wird, wie diese in der Zeitung oder auf der Homepage platziert, wie viel Platz ihr eingeräumt, wie diese bebildert wird und welche Protagonisten bzw. weiteren Gesprächspartner im journalistischen Beitrag mit welchem Redeanteil zu Wort kommen. Insbesondere bei einer Nachricht oder beim Bericht ist die Kernaufgabe des Journalisten neben der Recherche zu entscheiden und dann zu kürzen und stark zusammenzufassen, was die wesentliche Neuigkeit ist. Durch diese Verdichtung und die Gatekeeper-Funktion des Journalismus wird es dem Leser bzw. User ermöglicht, schnell die wesentlichen Nachrichten zu erfassen. Dadurch geht für ihn aber auch die Nachprüf- und teilweise Nachvollziehbarkeit verloren.

Neue digitale Medienformen (wie zum Beispiel Multimediales Storytelling, Datenjournalismus, Social Media, Live-Streaming oder immersive Medien) können wieder zu mehr Authentizität im Journalismus führen. Dies liegt zum einen an der Interaktivität, zum anderen an der Möglichkeit, neben der fokussierten Situation sich einen breiteren Einblick über das Thema zu verschaffen, sei es durch weiteres Eintauchen in den Datensatz, durch von anderen Usern ergänzte Kommentare in sozialen Netzwerken wie Facebook, Twitter oder Instagram, durch ungeschnittene Livebilder oder durch einen 360-Grad-Rundum-Blick, der nicht mehr nur auf ein 16:9-Format ausgeschnittene Szenen zeigt, sondern einen Überblick ermöglicht.

Multimediales Storytelling (auch Onepager, Scrollytelling oder Multimedia-Reportage genannt) ermöglicht es, verschiedene Medien zu kombinieren. Dies kann sowohl innerhalb eines Beitrags geschehen (wie bei den bekanntesten Beispielen „Snow Fall“[8] aus dem Jahr 2012 von der „New York Times“, „Firestorm“[9] vom „Guardian“ oder „Haldern Pop“[10] vom WDR) als auch durch mehrere aufeinander abgestimmte Beiträge. Diese Dossiers sollten aber keine redundanten Informationen enthalten.[11] Der Journalist sollte vom Thema her denken und sich dann das geeignetste Medium überlegen, mit dem er seine Geschichte erzählen will.

Text eignet sich vor allem für Analyse, beim Teaser und als Bindeglied zwischen verschiedenen Elementen. Videos werden vor allem eingesetzt, um Emotionen und Bewegung zu transportieren. Interaktive Grafiken eignen sich für Statistiken und Zahlen. Fotos zeigen Momentaufnahmen, die dadurch ausdrucksstärker dargestellt werden als in Bewegtbild. Eine Audio-Slideshow, also eine mit Ton unterlegte Bildergalerie, verleiht durch die gesprochenen Worte des Protagonisten den Fotos mehr Ausdrucksstärke. Die Liste der möglichen Medien kann beliebig fortgesetzt und um zum Beispiel Comics, Bildergeschichten (wie in der „Bravo“), Loops (Dauerschleifen), Maps zur lokalen Einordnung oder Karikaturen erweitert werden.

---

[8] vgl. http://www.nytimes.com/projects/2012/snow-fall/#/?part=tunnel-creek (abgerufen am 29.6.2017)
[9] vgl. https://www.theguardian.com/world/interactive/2013/may/26/firestorm-bushfire-dunalley-holmes-family (abgerufen am 29.6.2017)
[10] vgl. http://reportage.wdr.de/haldern-pop#3139 (abgerufen am 29.6.2017)
[11] vgl. Kaiser, Markus: Multimediales Storytelling und neue Erzählformen, in: [Ka15a], S. 62f.

Beim Multimedialen Storytelling wurde erstmals auch bei Fotos und Loops verstärkt Wert auf Hintergrundakustik gelegt, was für noch mehr Authentizität sorgen soll. Vor allem durch die Kombination der verschiedenen Medien erreicht man, dass sich der User einen umfassenden Einblick über das Thema verschaffen kann. So kann eine knappe ungeschnittene Videosequenz innerhalb eines Textes einen immensen Mehrwert schaffen. In einer Text-Reportage werden Szenen, Personen und Interaktionen beschrieben, die sich der Leser (ähnlich wie in einem fiktionalen Roman) vorstellen muss. Dies wird ihm bei Multimedia-Storys abgenommen. Ein Beispiel: In einer Reportage, die die Sportart Unterwasserrugby beleuchtet und die bei den wenigsten Lesern bekannt sein dürfte, kann man ein schlichtes und ungeschnittenes zehnsekündiges Video einbauen, damit man sich vorstellen kann, wie diese unbekannte Randsportart abläuft.

Im *Datenjournalismus* sind die Zahlen, Daten und Statistiken das zentrale Element. Diese werden in den meisten Projekten visuell aufbereitet und in interaktiven Grafiken dargestellt. Beispiele sind hier der inzwischen wieder eingestellte „Zugmonitor“ der „Süddeutschen Zeitung“ oder „Das geteilte Land“ der „Zeit“, in dem in Daten zum Tag der Deutschen Einheit Unterschiede zwischen Ost- und Westdeutschland aufgezeigt wurden (zum Beispiel über das Einkommen, aber auch die Häufigkeit des Vornamens Ronny). Der Journalist übernimmt für den User fünf Schritte: Daten finden, Daten konvertieren und bereinigen, Daten hinterfragen und herausfiltern, Geschichten visualisieren und Datengeschichte publizieren.[12] Für den User sorgt hierbei für mehr Authentizität, dass er sich in der Regel auch die Rohdaten online anschauen kann und innerhalb der publizierten interaktiven Grafik auch eigene Recherchen durchführen kann, also selbst in das Thema tiefer eintauchen kann. So werden die Datengrundlage für die herausgefilterte Geschichte transparent und die Schlussfolgerungen nachprüfbar.

Social Media ist durch zwei Elemente geprägt: zum einen Interaktion durch einen Rückkanal (der im Fernsehen nur durch den TED wie bei „Wetten dass…?“ oder in Zeitungen durch Leserbriefe möglich war), zum anderen durch die Aufweichung von Publizist und Rezipient (User generated content bzw. Bürgerjournalismus).[13] Ungeachtet der aktuellen Debatte um Fake News und Social Bots sorgen Facebook, Twitter und Kommentare bzw. Diskussionen unterhalb von Weblog-Beiträgen dafür, dass die strikte Trennung zwischen Sender und Empfänger aufgeweicht wird. Neben Marketing-Gesichtspunkten, zum Beispiel um journalistische Beiträge anzuteasern, dienen soziale Netzwerke daher vor allem der Recherche: Journalisten können darüber Gesprächspartner bzw. Protagonisten finden, sie können Themen austesten, sie können neue Themenideen generieren und sie können zu bestehenden Themen weitere bzw. die für die späteren Leser oder Zuschauer relevanten Aspekte recherchieren.[14]

Rezipienten können aber auch bei bereits veröffentlichten Beiträgen mitdiskutieren, Fehler sind dadurch einfacher aufzudecken, weitere Sichtweisen können eingebracht werden – dadurch können soziale Netzwerke Diskussionen transparent abbilden (sofern

[12] vgl. Oswald, Bernd: Datenjournalismus, in: [Ka15a]: S. 91-100.
[13] Einen guten Einblick in das Phänomen aus sozialwissenschaftlicher Perspektive geben: [EGL16].
[14] vgl. [Ka15b], S. 76-83.

nicht nur in Filterblasen diskutiert wird). Außerdem können einzelne Tweets auch innerhalb von Texten oder Multimedia-Storys eingebunden werden (wie dies zuletzt vor allem mit den Tweets von US-Präsident Donald Trump der Fall war), um für mehr Authentizität zu sorgen. Natürlich ist diese kuratierte Auswahl an Postings abhängig von der Entscheidung des einzelnen Journalisten.

Insbesondere beim *Live-Streaming* ist die Diskussion groß, ob es sich dabei überhaupt um ein journalistisches Format handelt. Entscheidend ist dabei, ob der Live-Stream zum Beispiel durch einen Reporter vor der Kamera, einem Sprecher aus dem Off oder einem begleitenden Text auf der Website oder bei Facebook bzw. Periscope (Facebook Live und Periscope sind die derzeit beiden bedeutendsten Livestreaming-Plattformen) eingeordnet wird. Durch Live-Berichterstattung (hierzu zählen zum Beispiel auch Live-Ticker) kann sehr zeitnah, transparent und authentisch dem User ein Ereignis vermittelt werden. Nicht der Journalist wählt als Gatekeeper bestimmte Szenen aus, die er schildert, bzw. Personen und Handlungen, die er selbst beschreibt, sondern der User kann live zuschauen. So kann er sich einen umfassenden Eindruck verschaffen. Dies kann den Vorwurf entkräften, Journalisten berichten nur selektiv und lassen manche Informationen schlicht weg.

Bei Facebook Live sind die Live-Streams (ähnlich wie bei YouTube) auch nach der Live-Schaltung weiterhin abrufbar und schaffen so auch die Möglichkeit, sich nachträglich zu bestimmten Berichten authentische Szenen anzuschauen. Allerdings ist der Standpunkt des Journalisten mit seinem Smartphone und die gewählte Kameraperspektive auch hier entscheidend: So kann sich ein Journalist bei einer Demonstration zum Beispiel so platzieren, dass es nach einer Masse oder nach ganz wenigen Demonstranten aussieht. Dadurch kann dieser vermeintliche Gewinn an Authentizität auch zu einer Gefahr werden, weil damit manipuliert werden kann, aber der Rezipient den Live-Stream für besonders authentisch hält.

Immersive Medien wie Virtual Reality oder 360-Grad-Videos sind qua Definition authentisch. Sie ermöglichen das Eintauchen in eine Szene. Wer sich zum Beispiel mit einem Cardboard einen Film anschaut, hat den Eindruck, mittendrin zu sein. 360-Grad-Videos sind daher verwandt mit der klassischen journalistischen Darstellungsform Reportage. Man erhält keine Zusammenfassung der Ereignisse, sondern die Szenen bzw. Handlung authentisch geschildert und kann sich dadurch am besten selbst eine Meinung bilden. Die „Süddeutsche Zeitung“ hat zum Beispiel direkt vor den Olympischen Spielen 2016 in Rio de Janeiro ihre neue App „SZ VR“ vorgestellt, in der sie als erstes Projekt gemeinsam mit dem Münchner Unternehmen re:flect die „Schattenseiten der Spiele“ beleuchtet und über das Leben in den Favellas von Rio berichtet hat. Hierbei handelt es sich um eine 360-Grad-Reportage, bei der man den Eindruck hat, selbst mitten in einer Favella auf dem Sportplatz zu stehen oder in einem Bus mitzufahren. Weitere Projekte gibt es zur neuen Münchner Stammstrecke oder aus dem Orchestergraben. Der WDR hat zum Beispiel ein VR-Projekt zum Kölner Dom produziert. Der Bayerische Rundfunk berichtet in seiner neuen App „BR24“ in 360-Grad-Videos.

Dem User wird dabei nicht ein bestimmter Ausschnitt vorgesetzt, er kann seinen Kopf

drehen und sich einen Rundum-Blick verschaffen. Dies sorgt für mehr Authentizität, wenngleich es wie beim Live-Streaming auch hier massiv auf den Standort der 360-Grad-Kamera ankommt. Hinzu kommt, dass zwar 360-Grad-Videos authentisch die Wirklichkeit abbilden, Virtual Reality dagegen in der Regel mit computergenerierten Inhalten arbeitet. So können zum Beispiel Interviewpartner oder Protagonisten in andere Szenen gesetzt werden, als sie zum Zeitpunkt der Aufnahme es tatsächlich waren. Diese vermeintliche höhere Authentizität kann sich daher auch hier ins Gegenteil umschlagen.

Besonders umstritten ist, ob *Roboterjournalismus* zu mehr Objektivität beitragen kann. Wenn das Programm mit Daten gespeist wird oder sich diese aus dem Internet zieht, werden die Texte automatisch geschrieben. Vor allem bei Wetter-, Börsen- oder Sportnachrichten wird dies bereits eingesetzt. Kritiker bemängeln, dass zum Beispiel bei Börsenberichten (vorerst) nur die vorhandenen Daten verbalisiert wiedergegeben werden können und auf eine Einordnung verzichtet werden muss. Der Roboter kann also schreiben, wer größter Gewinner oder größter Verlierer im DAX ist, aber nicht beurteilen, woran diese Auf- bzw. Abwärtsbewegung liegt. Befürworter sehen im Roboterjournalismus einen objektiveren Journalismus, weil das Programm im Fall der Börsenberichterstattung bei gleichen Sachverhalten auch auf dasselbe Vokabular zurückgreifen würde und somit keine subjektiven Befindlichkeiten des Journalisten miteinfließen.

Während der Deutsche Presserat im Pressekodex für Tageszeitungen, Zeitschriften und deren Online-Ableger relativ klar regelt, welche journalistischen Standards anzuwenden sind, gibt es derzeit noch keine verbindlichen und allgemeingültigen Regeln für die neuen Medienformate wie zum Beispiel immersive Medien oder Live-Streaming. Selbstverständlich gilt auch hier das klassische Medienrecht (wie Urheberrechte und Persönlichkeitsrechte). Es haben sich aber hier noch keine Standards herausgebildet, auch inwieweit Bearbeitungen von Aufnahmen kenntlich gemacht werden müssen. Letztlich bieten neue digitalen Medien immense Chancen, authentischer zu berichten. Es kommt aber auf den einzelnen Journalisten bzw. die Redaktion an, ob diese in ihren Projekten auch genutzt werden.

Literaturverzeichnis

[EGH16] Ebersbach, A./Glaser, M./Heigl, R.: Social Web, UVK, Konstanz, 2016 (3. Aufl.).

[Ei14] Eick, D.: Digitales Erzählen. Die Dramaturgie der Neuen Medien, UVK, Konstanz, 2014.

[HW17] Hooffacker, G./Wolf, C. (Hrsg.): Technische Innovationen – Medieninnovationen?, SpringerVS, Wiesbaden, 2017.

[Ka15a] Kaiser, M.: Innovation in den Medien. Crossmedia, Storywelten, Change Management, Verlag Dr. Gabriele Hooffacker, München, 2015 (2. Aufl.).

[Ka15b] Kaiser, M.: Recherchieren. Klassisch, online, crossmedial, SpringerVS, Wiesbaden, 2015.

[KKN14] Kappes, Christoph/Krone, Jan/Novy, Leonard (Hrsg.): Medienwandel kompakt 2011 – 2013. Netzveröffentlichungen zu Medienökonomie, Medienpolitik & Journalismus (Wiesbaden: Springer VS, 2014)

[St13] Sturm, S.: Digitales Storytelling. Eine Einführung in neue Formen des Qualitätsjournalismus, SpringerVS, Wiesbaden, 2013.

[WKL16] von Wyngaarden, E./Kaiser, M./Leitner, M./Buttkereit A.-F./Schall, P./Zembol, S.: Story:Now. Ein Handbuch für digitales Erzählen, Mixtvision-Verlag, München, 2016.

[WKP05] Weischenberg, S./Kleinsteuber, H. J./Pörksen, B. (Hrsg.): Handbuch Journalismus und Medien, UVK, Konstanz, 2005.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 1823

Authentische Berichterstattung in einem journalistischen Mitmach-Medium

Rainer Lutze[1] und Michael Strzodka[2]

Abstract: Es wird das Konzept eines digitalen journalistischen Mitmach-Mediums, des Nachrichtennetzwerks, unter aktiver Beteiligung von Nutzern vorgestellt. Im Fokus steht dabei eine flächendeckende, thematisch umfassende, kleinteilige lokale / regionale Berichterstattung. Diese ist ausschließlich mit professionellen Journalisten heute kaum noch wirtschaftlich realisierbar, sondern erfordert den Einbezug aktiver Nutzer als weitere Inhaltslieferanten. Die technischen und organisatorischen Verfahren zur Qualitätssicherung und Unterstützung einer authentischen Berichterstattung von Nutzern werden vorgestellt. Die Realisierungschancen und – risiken eines solchen digitalen Mediums werden kritisch beleuchtet.

Keywords: Nachrichtennetzwerk, Augenzeugenprinzip, Orts-Zeit-Spur, Fake News, Berichterstattung auf Augenhöhe, Bewertung von Nachrichten durch Nutzer, Nachrichten App, Georeferenzierung

1 Die Situation der Nachrichtenmedien

Eine kleinteilige und thematisch umfassende, flächendeckende journalistische Berichterstattung mit Fokus auf lokalen und regionalen Themen ausschließlich durch professionelle Journalisten wird aus wirtschaftlichen Gründen zunehmend schwieriger[3]. Zudem fordern die heutigen Nutzer von Nachrichtenmedien a) eine Berichterstattung möglichst in Realzeit und b) einen Einbezug in die gesellschaftliche Kommunikation *auf Augenhöhe.* Das klassische redaktionelle Vorgehen, bei dem die Chefredaktion belehrend dem passiven Leser die Welt des Vortages oder ablaufenden Tages erklärt und das Geschehen verbindlich einordnet, wird zunehmend als unzeitgemäß, undemokratisch und „zu langsam" empfunden. Auch die selektive Publikation von mehreren Tagen alten Leserbriefen, die typischerweise mit der Weltsicht der Chefredaktion und des Verlages kongruent gehen, erfüllt nicht die Erwartungen heutiger Nutzer nach einer Partizipation *in Augenhöhe*. Schon vor zehn Jahren wurde dieser Trend weg vom *passiven Leser* hin zum *aktiven Inhaltsproduzenten und Konsumenten, Prosumer,* im Kontext von „Web 2.0" erkannt und benannt [IBM08].

[1] Dr.-Ing. Rainer Lutze Consulting, Wachtlerhof, Wilhermsdorfer Str. 14, 90579 Langenzenn, rainer.lutze@lustcon.eu
[2] Selbstständiger Journalist, DJV, michael.strzodka@googlemail.com
[3] vgl. etwa das „Reqiem" von S.Kuzmany zum Ende der Deister-Leine-Zeitung (DLZ), [Ku12]

doi:10.18420/in2017_181

Andererseits zeigen heutige soziale Netzwerke wie Facebook, dass die ungeprüfte, unmittelbare Verbreitung beliebiger Nutzerbeiträge auch und immer häufiger Rassismus, einer gezielten Meinungsmanipulation sowie der Ankündigung, Durchführung und Illustration von Straftatbeständen Vorschub leistet. Kaum jemand wird diese anarchische Umsetzung der Nutzerpartizipation auf Augenhöhe als ein Modell für die Zukunft bewerten. [PEW17]
.

2 Konzept des Nachrichtennetzwerks

2.1 Das System

Das Nachrichtennetzwerk verwendet einen zentralen Server, der auf erste Anforderung eines digitalen Endgerätes (Smartphone, Tablet) – und dann weiter proaktiv - einen digitalen Strom von Beiträgen IP-basiert über das Internet an die Endgeräte aussendet. Beiträge sind entweder verortete *Nachrichten* zu Ereignissen bzw. Veranstaltungen oder *Essays, Meinungen.* Letztere, nicht verortete Beitragsart wird nur von professionellen Journalisten (in der Redaktion) des Nachrichtennetzwerks verfasst. Verortete *Nachrichten* können auch von Nutzern des Nachrichtennetzwerks selbst erstellt werden (vgl. Kapitel 2.4). Alle durch den Server publizierten Einzelnachrichten weisen die folgenden vier Metadaten auf (vgl. Details im Patentantrag [LS13]):

a) den ***thematischen Ort* des Geschehens.** Dieser *thematische Ort* kann *geographisch:* i) *ein Punkt*[4] sein, etwa bei einem Unglücksfall an diesem Ort. Oder aber ii) *ein Linienzug,* etwa bei einem Radrennen. Oder iii) *eine zweidimensionale, zusammenhängende Fläche,* etwa bei einer Wahl in einem Bundesland/Staat. Für Punkte und Flächen wird – soweit möglich – die kleinste umfassende *Gemeinde* oder *Gebietsbezeichnung* ermittelt und angegeben, statt der Geokoordinaten, um auf den Endgeräten des Systems eine effiziente Zuordnung[5] von Nachrichten zu Interessensprofilen der Systemnutzer zu ermöglichen (vgl. Kapitel 2.3).

b) die ***räumliche Relevanz*** der Nachricht, vereinfacht ausgedrückt als Radius um den Ort des Geschehens (als Punkt) oder den Schwerpunkt (als Linienzug, Fläche). Die räumliche Relevanz, das *Verbreitungsgebiet* der Nachricht, bestimmt, an welche thematisch interessierten Nutzer die Nachricht publiziert wird, wenn diese Nutzer keine spezifischen geografischen Präferenzen angegeben haben.

c) die ***bisherige Bewertung*** der Nachricht durch die Menge aller Nutzer (ausgedrückt durch ein Ranking in 6 Stufen („0 bis 5 Sternen"), entsprechend *nichtssagend* bis *hervorragend*).

[4] im WGS 84 Bezugssystem

[5] dies setzt natürlich die Nutzung des gleichen Systems für zentralen Server und Endgeräte voraus, um begriffliche Ambiguitäten und deren höchst komplexe räumliche Auflösung (vgl. dazu etwa das **NewsStand** System [Sa14]) zu vermeiden. Das Nachrichtennetzwerk verwendet einheitlich das Google Maps™ API.

d) das (von der Redaktion zugeordnete) ***Ressort der Nachricht***

e) den Hinweis, ob es sich bei der Nachricht um eine ***originäre, neue Nachricht*** handelt, oder um eine ***Aktualisierung*** einer früher schon an dieses Endgerät ausgesendeten Nachricht!



Abb. 1 Ressort gegliederte Liste des Nachrichtenstroms (links), einzelne Nachricht (mit aufgewischtem Overlay Layer mit den Metadaten (rechts)

2.2 Digitale Endgeräte, App

Die Endgeräte des Nachrichtennetzwerks sind Smartphones oder Tablets, die sich mindestens durch einen integrierten GPS Sensor (und eine Realzeituhr) auszeichnen. Auf den Endgeräten wird die App des Nachrichtennetzwerks ausgeführt, die nach initialem Start immer im Hintergrund des Endgerätes aktiv bleibt. Die App besteht aus drei Kernmodulen:

a) einem **Dispatcher,** der initial die App des Endgerätes als Empfänger des Nachrichtenstroms des Servers anmeldet und authentifiziert. Grundmuster der Kommunikation ist also ein Publisher / Subscriber Service als Spezialfall eines Data Distribution Service (DDS). Der vom Server (als *Publisher*) zentral ausgesendete Nachrichtenstrom umfasst jeweils nur i) *Dachzeile/Titel* und ii) *Metadaten* der Artikel. Der Dispatcher (als *Subscriber*) prüft, ob ein Artikel im Nachrichtenstrom dem – geografischen und thematischen - Interessensprofil des Nutzers entspricht und ruft diesen – im Positivfall – anschließend vom Server ab. Damit ist das spezifische Interessensprofil eines Nutzers nur der App im Endgerät bekannt und wird (aus Datenschutzgründen) niemals an den zentralen Server übermittelt: *privacy by design.* Der Dispatcher erstellt aber auch laufend ein – systematisch und strikt in der App verbleibendes – *Bewegungsprofil des Nutzers.* Das Profil wird aus Datenschutzgründen ausschließlich verschlüsselt im Endgerät gespeichert und nur in der App verwendet, es ist nicht aus der lokalen App exportierbar. Im Profil wird in Form einer *Orts-/ Zeitspur* aufgezeichnet, an welchen geografischen Punkten sich der Endgeräte Nutzer in den letzten 72 Stunden aufgehalten hat. Die Orts-/Zeitspur wird verwendet, um i) zu verifizieren, ob der Nutzer *Augenzeuge* eines Ereignisses ist oder war, über das er – mit dem Reportagemodul - berichten möchte. Eine weitere Verwendung findet die Orts-/Zeitspur, um daraus ii) das geografische Interessensprofil des Nutzers automatisch abzuleiten (vgl. Kapitel 2.3).

b) einem **Anzeigemodul.** Das Modul stellt die vom Server empfangenen Nachrichten auf dem Endgerät dar und erlaubt eine Bewertung einer Nachricht durch den Nutzer des Endgerätes. Ist der Nutzer zugleich ein *Augenzeuge* des in der Nachricht berichteten Ereignisses, kann er die Nachricht nicht nur *bewerten,* sondern auch *überarbeiten.* Dazu verwendet er/sie den Reportagemodul. Die Darstellung und Lesedauer von Nachrichten in der App wird zusammen mit Datum/Zeit und dem jeweiligen Ort der Nutzung anonymisiert an den zentralen Server des Systems zurück gemeldet. Mit Download und vor einer Nutzung der App wird der Nutzer über das Verfahren der anonymisierten Rückmeldungen – wie über die allgemeinen Wirkprinzipien der App – umfassend informiert. Die Zustimmung des Nutzers ist mandatorisch und eine Vorbedingung für eine Nutzung und Mitwirkung im Nachrichtennetzwerk.

c) einem **Reportagemodul**, mit dem der Nutzer des Endgerätes einen Bericht zu einem Ereignis erfassen (oder überarbeiten) kann. Voraussetzung ist, dass er/sie sich in den letzten 72 Stunden am Ort des Geschehens des berichteten Ereignisses – oder in seiner definierten Nähe - aufgehalten hat (Rolle eines *„Augenzeugen"*). Zunehmende zeitlich oder räumliche Distanz des Berichtes zum Ereignis reduzieren die Glaubwürdigkeit eines Berichtes des Augenzeugen (s. unten). Andererseits ist es mit Hilfe der gespeicherten Orts-/Zeitspur auch möglich, am nächsten oder übernächsten Tag über eine Kultur- oder Sportveranstaltung zu berichten, an der der Nutzer zuvor teilgenommen hat. Ein mit der App verfasster Bericht muss in jedem Fall Metadaten zu Zeit und Ort des Geschehens und zum Ressort des Berichtes haben. Auch eine vom Berichtenden vorgeschlagene *räumliche Verbreitung, Relevanz* für seinen Bericht kann angegeben sein. Die inhaltliche Beschreibung eines Ereignisses in Text und Bild kann

minimalistisch ausfallen. Die App führt durch die Berichterstellung mit einem strukturierten Fragekatalog (vgl. Kapitel 2.4)

2.3 Bestimmung des Interessensprofils eines Nutzers

Die gespeicherte Orts-/Zeitspur eines Nutzers wird verwendet, um daraus defaultmäßig sein *geografisches Interessensprofil* abzuleiten und zu adaptieren *(„big data Analyse").* Dazu wird die über einen Zeitraum der letzten 72 Stunden exklusiv und lokal in der App gespeicherte Orts-/Zeitspur über einen Zeitraum der letzten vier Wochen wie folgt verdichtet:

- Die – durch *reverese geocoding* bestimmte(n) – *Gemeinde(n) bzw. Stadtteile und/oder Gebiete,* an dem der Nutzer regelmäßig und insbesondere an Wochenenden seine Nächte verbringt, werden als „*Lebensraum"* des jeweiligen Nutzers bestimmt. Dieser Lebensraum wird als Kern des geografischen Interessensprofils eines Nutzers interpretiert.
- Die *Strecken*, an denen sich der Nutzer während üblicher Tageszeiten regelmäßig bewegt, werden als *„Bewegungsraum"* des Nutzers interpretiert und zu seinem geografischen Interessensprofil hinzugefügt.
- Die *Gemeinde(n) bzw. Stadtteile und/oder Gebiete,* an denen sich der Nutzer abends oder tagsüber an Wochenenden mehrfach aufhält, werden als *„Erlebnisraum"* eines Nutzers ebenfalls seinem geografischen Interessensprofil hinzugefügt.

Das so ermittelte *geografische Interessensprofil* umfasst damit eine Mehrzahl an Gemeinden bzw. Stadtteilen und/oder Gebieten des *Lebens- und Erlebnisraums* sowie die Strecken des *Bewegungsraums*.

Über die automatische, *implizite* Ableitung seines geografischen Interessensprofils aus der aufgezeichneten *Orts-Zeitspur* hinaus hat der Nutzer der App jederzeit die Möglichkeit, zusätzliche geografischen Regionen, Gebiete, und/oder Gemeinden, wie entfernte *Heimatorte, Urlaubsgebiete, ...* als weitere *geografische Interessensgebiete explizit* anzugeben. Natürlich können auch ermittelte Gemeinden oder Gebiete aus dem erstellten geografischen Interessensprofil wieder manuell abgewählt werden. Die Einfachheit der Bedienung bzw. Intuitivität der App hängt aber entscheidend daran, dass das geografische Interessensgebiet eines Nutzers durch die App im Regelfall vollautomatisch und richtig ermittelt wird.

Thematisch kann der Nutzer seine Interessen durch Abwahl des angebotenen Spektrums von Ressorts (Politik, Sport, Wirtschaft, Panorama/Leute, ...) artikulieren. Das thematische Interessensprofil steuert auch die werblichen Angebote, die ihm auf der App als Vollformatanzeigen bzw. als – spezifisch gekennzeichnete – Firmen- oder Produktberichte, *native advertising,* angeboten werden.



Abb. 2 Festlegung der persönlichen Interessensprofile in der App

2.4 Berichterstattung zu Ereignissen mit dem Reportagemodul der App

Die Führung der Berichterstellung durch das Reportagemodul der App des Nachrichtennetzwerks stützt sich auf die bewährten „W" Fragen des Journalismus in der Strukturierung von Nachrichten:

- *Wo* ist etwas passiert? -> Ort des Geschehens
- *Wann* ist es passiert? -> Zeitpunkt / Zeitraum
- *Was* ist passiert? -> Titel, Zusammenfassung des Berichtes
- *Wer* ist involviert? -> beteiligte Personen, Institutionen
- *Wie, Warum* ist es passiert? Nähere Analyse, Konsequenzen des Geschehens?

Die Beantwortung der *Wo, Wann* und *Was* Fragen sowie die Ressortzuordnung für einen Bericht sind verpflichtend; die Angaben zu den *Wer* und *Warum* Strukturbestandteilen des Berichtes optional. Angaben zu *Was, Wer* und *Warum* können in *Text* oder *Bild* oder *Audio-, Video*beitrag gegeben werden.

Die uniforme Struktur der erstellten Berichte erlaubt es zudem, aus den unterschiedlichen Berichten zum gleichen Ereignis einzelne Strukturbestandteile zu einer gemeinsamen Nachricht zu aggregieren. So können die textuellen Stärken eines Berichtes mit der reichen Bebilderung eines weiteren Berichtes und Audio-/Videobeiträgen aus zusätzlichen Berichten kombiniert werden. Zur Sicherung der semantischen Konsistenz der aggregierten Nachrichten werden dabei für jeweils einen Strukturbestandteil nur der Bericht eines Beitragenden verwendet.



Abb. 3 Führung durch die Berichterstellung: Übersichtsstatus (links), Maske für 2. Schritt (rechts)

Erstellte Berichte eines Nutzers werden vor Übertragung verschlüsselt und von der App mit dem kryptografischen Schlüssel des Nutzers im Nachrichtennetzwerk signiert, so dass der Urheber des Berichts verfälschungssicher dokumentiert wird.

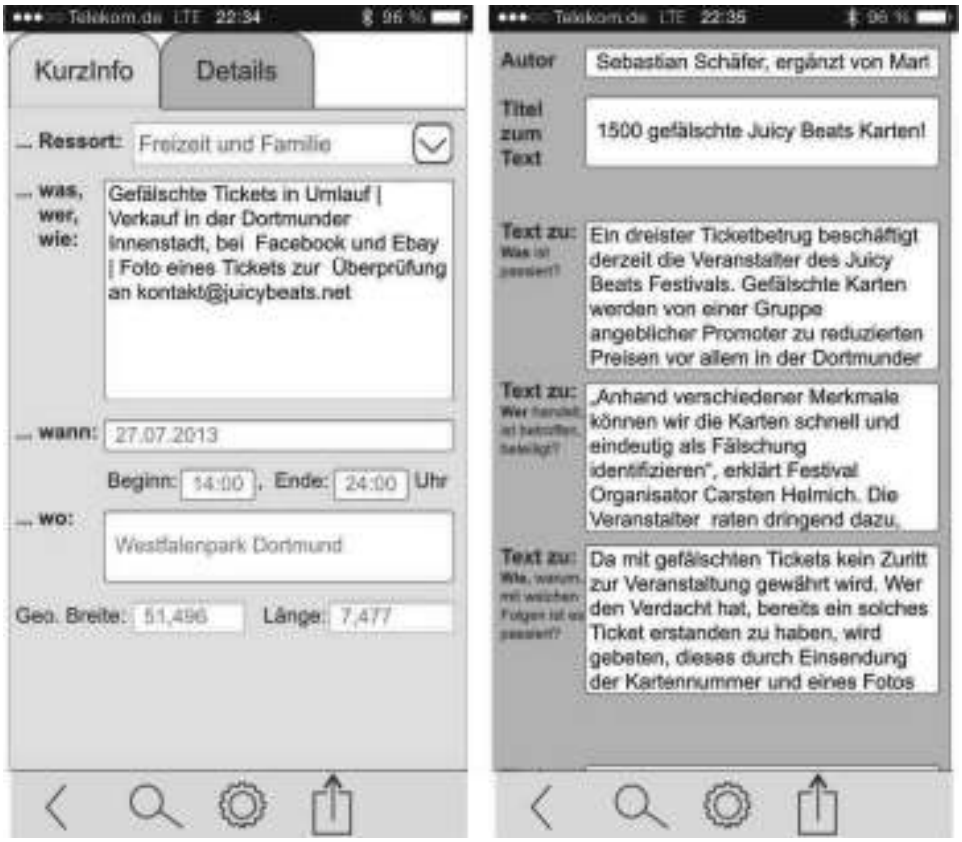


Abb. 4 Kurzinfo und Details eines erstellten Berichtes

2.5 Werbung im Nachrichtennetzwerk

Das Nachrichtennetzwerk bietet Werbetreibenden die Gelegenheit, Vollformatanzeigen für mobile Endgeräte (jeweils monatlich) online zu buchen. Eine Anzeige besitzt neben dem beworbenen Produkt oder Service als Metadaten:

- ein oder mehrere (Nachrichten)Ressorts, denen die Anzeige zugeordnet ist,
- eine (oder mehrere) georeferenzierte Verkaufs- oder Veranstaltungsstätten, für die jeweils die täglichen Öffnungszeiten angegeben werden,

- die (den Anzeigepreis wesentlich bestimmende) geografische Reichweite, innerhalb deren die Werbung überhaupt ausgepielt wird.

Nur Nutzer, die als thematisches Interessensgebiet ein Nachrichtenressort x benannt haben, sind für die Ausspielung einer Werbung qualifiziert, die Ressort x als Zuordnung benennt. Eine derart vorqualifizierte Werbung wird in der mobilen App des Nachrichtennetzwerks tatsächlich ausgespielt, wenn sich der Nutzer in definierter Nähe einer zu diesem Zeitpunkt geöffneten Verkaufs-/Veranstaltungsstätte aufhält. Dabei wird auch die aktuelle Bewegungsgeschwindigkeit des Nutzers mit berücksichtigt, um zu verhindern, dass der Nutzer bei einer Autobahnfahrt mit hoher Geschwindigkeit etwa auf eine wenige Meter vor ihm befindliche Bäckerei werbend hingewiesen wird, die er ohnehin praktisch nicht erreichen kann.

3 Mechanismen der Qualitätssicherung

Das Nachrichtennetzwerk beinhaltet die folgenden technischen Maßnahmen, um eine möglichst authentische Berichterstattung zu unterstützen:

1. Nur *Augenzeugen* eines Ereignisses / einer Veranstaltung können (mit dem Reportagemodul der App) berichten. Die Eigenschaft, Augenzeuge eines Ereignisses zu sein, wird durch die App des Nachrichtennetzwerks auf dem persönlichen Endgerät verifiziert.
2. Der zentrale Server des Systems *clustert* alle eingegangenen Berichte zu Ereignissen nach Zeit und Ort des berichteten Geschehens. Berichte *aus zeitlicher und räumlicher Nähe* zum berichteten Ereignis werden gegenüber solchen aus größerer zeitlich/räumlicher Distanz bevorzugt.
3. Es kann themenspezifisch ein *Schwellwert* vorgegeben sein, wie viele Berichte zu einem Ereignis von unterschiedlichen Nutzern mindestens vorliegen müssen, damit aus diesen Berichten eine Nachricht im Netzwerk generiert und publiziert wird. Die Anzahl der Berichte kann ebenfalls bestimmen, welches Verbreitungsgebiet die Nachricht bei ausschließlich thematisch interessierten Nutzern haben soll. Es ist typischerweise vorgesehen, dass, *desto größer* das Verbreitungsgebiet der Nachricht ist, *desto mehr* unterschiedliche Berichte zum Ereignis vorliegen müssen.
4. Für jeden als Nachricht (anteilig) publizierten Bericht eines Nutzers wird im zentralen Server ein *Reporterprofil* angelegt. In dem Reporterprofil wird summarisch vermerkt, wie häufig eine Nachricht dieses Beitragenden abgerufen wurde, wie lange sie durch die Nutzer des Netzwerks gelesen wurde und welche Bewertung ihr die Nutzer erteilt haben. Aus diesen Merkmalen wird zusammenfassend eine Bewertung des Nutzers als Beitragender im Nachrichtennetzwerk bestimmt. In die Bewertung fließt auch das Ressort der Nachricht ein und von welchem geografischen Ort der Beitragende berichtet hat. Das *Reporterprofil* reflektiert damit die *Reputa-*

tion des Beitragenden aus Sicht der Nutzer des Netzwerks, bezogen auf ein bestimmtes Ressort und typische Orte der Berichterstattung.

5. Die Beitragenden mit der höchsten Bewertung in einem Monat werden jeweils entsprechend prämiert, um einen materiellen Anreiz zur Berichterstattung im Netzwerk zu geben. Zur Qualitätssicherung kann weiter vorgesehen sein, dass themenspezifisch eine bestimmte, minimale Bewertung des Beitragenden notwendig ist, um einen Bericht zu einem Ereignis für eine Nachricht zu berücksichtigen, insbesondere, wenn nur sehr wenige Berichte zu einem Ereignis vorliegen. Das sehr gute Reporterprofil eines Beitragenden kann also bewirken, dass Berichte von typischen Beitragsorten, etwa Kultur- oder Sportveranstaltungen in systembekannten Veranstaltungsstätten, selbst dann als Nachricht publiziert und weit verbreitet werden, wenn keine weiteren Berichte zum Ereignis vorliegen. Ein typischer Anwendungsfall ist der passionierte und regelmäßig berichtende Theaterkritiker.

6. Nachrichten können *aus unterschiedlichen Beiträgen* als Quellen der Text- und Bildpassagen der Nachricht *aggregiert* werden. Dabei kann auch die Reputation der jeweiligen Beitragenden für entsprechende Beiträge berücksichtigt werden.

7. Bei einer übergeordneten und außergewöhnlich hohen Bedeutung des berichteten Geschehens können Nutzer, die i) als Beitragende in ihrem *Reporterprofil* eine hohe Reputation für das jeweilige Ressort haben und ii) schon früher vom Ort des Geschens oder aus seiner Nähe berichtet haben, für eine Verifikation des Geschehens um eine *zusätzliche Berichterstattung* gebeten werden.

4 Integration des Netzwerks in die redaktionelle Organisation

Die Nutzung der beschriebenen Berichterstattung im Nachrichtennetzwerk muss im Kontext der jeweiligen Redaktionsorganisation betrachtet werden. Eine minimale Nutzung ist die Funktion eines *Themenradars* für die Redaktion, die identifiziert, was die Nutzer aktuell interessiert und wo die journalistische, professionelle Recherche und Reportage der Redaktion fokussiert werden sollte.

Dies löst typischerweise aber nicht das Ressourcenproblem, da insbesondere in der Fläche eine kleinteilige und umfassende redaktionelle Berichterstattung wirtschaftlich nicht möglich bzw. sinnvoll ist. Hier kommt die nächste Nutzungsmöglichkeit des Nachrichtennetzwerks in Spiel, in selektiven Bereichen (etwa: Kultur, Breitensport, Veranstaltungen, ...) Nachrichten *vollautomatisch aus eingegangenen, aggregierten Berichten der Nutzer des Netzwerks zu publizieren.* Zumindest, nachdem der Beitragende sich mit Begleitung der Redaktion eine *hohe Reputation* bzw. *Bewertung seines Reporterprofils* aufbauen konnte. Diese neue und zentrale Aufgabe der Redaktion in der Moderation von aktiven Beitragenden betont schon Jeff Jarvis in seiner Definition des „Digital First" Prinzips im GUARDIAN: *"Journalists have roles to play in collaborating with and organizing communities – and the article is just part of the mix"* [Ja11].

5 Diskussion, Schlussfolgerungen

Der Beweis für die Erfolgschance digitaler Nachrichtenmedien der zuvor beschriebenen Art steht noch aus. In den Niederlanden hat die Telegraaf Media Group (TMG) ihr 2011 gestartetes Bürgerportal *„Dichtbij"* – zunächst mit vielen Lorbeeren (vgl. etwa [Lo14]) für zukunftsweisenden Lokaljournalismus bedacht - 2016 praktisch wieder geschlossen [TMG15]. Ebenfalls 2016 hat die New York Times Ihre *„NYT Now"* App, 2014 als Versuch gestartet, jüngere Leser mit einem selektiven Nachrichtenstrom (national relevanter Nachrichten) zu erreichen, wieder eingestellt [Em16]. In beiden Fällen waren wirtschaftliche Aspekte, die mangelnde Profitabilität des neuen Mediums, wohl ausschlaggebend.

Es ist daher spekulativ, zu behaupten, dass eine deutlich höhere Automation in der Nachrichtenproduktion durch aktive Nutzer mit den vorgeschlagenen Techniken, und die damit einhergehende Kostenreduktion für den Verlag, eine wesentliche Verbesserung der Erfolgschancen eines solchen digitalen Mediums bedeuten könnte. Die beschriebenen Maßnahmen zur Qualitätssicherung dieser Nutzerberichte werden zumindest die heute zentral erkannte Schwachstelle der Nachrichtenpublikation über soziale Netzwerke, nämlich die gezielte Meinungsmanipulation, deutlich erschweren.

Last but not least wird aber die journalistische Konzeption des digitalen Mediums, die Attraktivität ihrer Berichte, Reportagen und Essays für den Nutzer über den wirtschaftlichen Erfolg des Mediums bestimmen. Entscheidend ist, welche Relevanz diese Beiträge für die persönliche Lebenswelt der Nutzer haben. Die effizienten technischen Methoden zur Nachrichtenproduktion sind dabei eine notwendige, aber keinesfalls hinreichende Voraussetzung des Erfolgs. Oder um es auf eine alte Lebensweisheit zu reduzieren: wer wagt, gewinnt!

Literaturverzeichnis

[Em16] Ember, S.: New York Times to Shelve the NY Times Now App, NY Times, Business Media, 18.August 2016, https://www.nytimes.com/2016/08/19/business/media/new-york-times-to-shelve-nyt-now-app.html

[IBM08] Innovation der Medien - Web 2.0 verwöhnte Konsumenten zwingen Medienanbieter zum Umbau ihrer Geschäftsmodelle. Studie IBM Global Business Services, Zentrum für Evaluation und Methoden, Universität Bonn, 2008 http://www-05.ibm.com/de/media/downloads/medienstudie-2008.pdf

[Ja11] Jarvis, J., Digital first: what it means to journalism, THE GUARDIAN, 26. Juni 2011 https://www.theguardian.com/media/2011/jun/26/digital-first-what-means-journalism

[Ku12] Kuzmany, J.: Der letzte Tag der "DLZ" – Sterben in Barsinghausen Spiegel Online, Kultur, 29.02.2012 http://www.spiegel.de/kultur/gesellschaft/letzter-tag-der-dlz-sterben-in-barsinghausen-a-818388.html

[Lo14] Lobe. A.: So funktioniert Lokaljournalismus im Internet, DIE WELT, Kultur, Medien & TV, 17. Oktober 2014, http://www.welt.de/133394065

[LS13] Lutze, R., Strzodka, M.: Verfahren zur Erfassung, Aggregation, Aktualisierung und Verbreitung von nach Zeit- und Raumbezug geprüften, bewertbaren, inhaltlich korrigier- und verifizierbaren Nachrichten über öffentliche Ereignisse von allgemeinem Interesse, Patentantrag DE 10 2013 007 248.4, 2013

[PEW17] Rainie,L, Anderson,J., Albright,J.: The Future of Free Speech, Trolls, Anonymity and Free Speech Online, PEW Research Institute, Study, 2017, http://assets.pewresearch.org/wp-content/uploads/sites/14/2017/03/28162208/PI_2017.03.29_Social-Climate_FINAL.pdf

[PEW14] Hampton, K.N., Rainie,L., Lu,W.,Dwyer,M., Shin,I., Purcell,K., Social Media and 'The Spiral of Silence', PEW Research Institute, Study, 2014, http://www.pewinternet.org/files/2014/08/PI_Social-networks-and-debate_082614.pdf

[Sa14] Samet, A. et.al., Reading News with Maps by Exploiting Spatial Synonyms, ACM Communications, Vol 57(2014), No. 10, pp. 60-77, DOI: DOI:10.1145/2629572

[TMG15] PM Telegraaf Media Group vom 23.11.2015: TMG reorganiseert bij nieuwssite Dichtbij.nl, http://www.telegraaf.nl/dft/bedrijven/telegraaf/24779628/_TMG_reorganiseert-_bij_nieuwssite_Dichtbij.nl_.html

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 1835

Klasse statt Masse statt Klasse

Henrik Bortels[1] und Nico Adam[2]

Abstract: Die Zeitungen stecken in einem Dilemma. Ihr Geschäftsmodell beruht auf einer bunten Mischung unterschiedlicher Ressorts, die das Umfeld für Anzeigen bilden. Rubrikenmärkte und Themenportale können jedoch von digitalen Wettbewerbern für jeden Bereich erfolgreicher umgesetzt werden als das Portal einer Zeitung. Diese müsste sich digital selbst kannibalisieren, um zukunftsfähig zu werden. Dafür läuft das Geschäft mit der Papierausgabe aber noch zu gut. Die notwendige radikale digitale Transformation findet deshalb häufig nur zögerlich statt, womit die Medienhäuser ihre wirtschaftliche Existenz gefährden.

Keywords: Zeitungen, Digitale Medien

1 Digitale Vielfalt

Meine Heimatzeitung bietet mir jetzt das e-Paper der morgigen Ausgabe bereits am Vorabend gegen 22 Uhr an. Es gibt wohl auch eine App.

Genau weiß ich das aber gar nicht. Dann macht meine Heimatzeitung noch ein Sportportal. Aber das ist eigentlich nur ein Fußballportal. Der Internetauftritt ist ziemlich aktuell, aber sehr verschachtelt.

Wenn ich mir die Seite auf meinem Smartphone ansehe, dann kann ich gar nicht bis in die tiefste Tiefe navigieren. Irgendetwas stimmt da wohl nicht. Für einige Beiträge soll ich auf der Webseite ein Digitalabo abschließen. Dabei habe ich doch die gedruckte Zeitung bereits abonniert. Vielleicht muss ich mich auch nur noch ein zweites Mal registrieren. Aber warum erkennen die das nicht? Ist auch egal. Ein paar Tage nach der Sperre ist der Text dann sowieso wieder frei verfügbar. Ach ja, und auf einem Monitor in der Innenstadt habe ich kürzlich auch Schlagzeilen meiner Heimatzeitung entdeckt. Die wollen jetzt wohl überall sein.

Aber wie passt das zu einer regionalen Tageszeitung?

Die Idee ist gut: Regionale Informationen nicht mehr nur einmal am Morgen im Briefkasten, sondern elektronisch immer und überall. Doch sind viele Redaktionen regionaler

[1] Henrik Bortels, Digitalchef.de, Berater für digitale Transformation, Meistersingerstr. 7, 14471 Potsdam, Germany, heb@digitalchef.de
[2] Nico Adam unitb Consulting GmbH, Gründer und Geschäftsführer, Brunnenstr. 156, 10115 Berlin, Germany, nico.adam@unitb-consulting.de

doi:10.18420/in2017_182

Tageszeitungen darauf kaum vorbereitet. Deshalb ist digitaler Journalismus nach traditionellen Maßstäben einer Tageszeitung, also mit ausführlicher Recherche und geprüften Quellen, in postfaktischen Zeiten nicht zu realisieren.

Es ist schwer, sich aus den Prozessen eines Zeitungsbetriebes zu lösen und digitalen Journalismus zu praktizieren. Schließlich hat dieser nichts mit den Prozessen eines Zeitungsbetriebes gemein.

Das Geschäft mit Nachrichten, News, Neuigkeiten dreht sich immer schneller. Brennt irgendwo ein Haus, dann wird ganz schnell bei Twitter ein Video gezeigt. Bei Instagram können erste Bilder betrachtet werden, Snaps gehen um die Welt, Freunde werden auf Facebook gefragt, ob es ihnen gut geht. In dieser dezentralen Versorgung mit Informationshäppchen ist der Redakteur meistens das letzte Glied einer langen Kette. Ein Unfall auf der Autobahn? Der Redakteur kann sich glücklich schätzen, wenn er noch vor dem Abschleppwagen an der Unfallstelle auftaucht. Da haben die Autofahrer im Stau bereits ihre Communities mit Fotos und und kurzen Texten vom Unfall versorgt. Das Thema ist durch.

2 Zahlen, bitte!

Es gab mal eine Zeit, für viele Verlagshäuser ist diese Zeit noch gar nicht vorbei, da galten Klicks beziehungsweise Page Impressions als die neue Währung. Durch die monatlichen Zugriffszahlen der IVW hat sich der Fokus zumindest leicht auf die Visits verlagert. Doch wenn für einen Internetauftritt lokale Werbung verkauft wird, dann immer noch über möglichst viele Seitenaufrufe. Mit dem Hebel des Tausenderkontakt-Preises (TKP) errechnet sich der Betrag - von dem der Mediaberater seine Prozente bekommt. Also dürfen es nicht etwa zeitgemäß genaue Zielgruppen sein, die mit einem Werbemittel erreicht werden können, sondern es müssen möglichst viele Sichtkontakte werden.

Hier wirkt immer noch die Denke aus der Zeitungswelt. Eine hohe Auflagenzahl rechtfertigt hohe Anzeigenpreise. Viel bringt viel. Digitale Verticals und spitze Zielgruppen passen da nicht in die gelernte Argumentation. Also muss auch eine Galerie mit möglichst vielen Fotos die entsprechende Zahl an Klicks bringen. Der Fotograf ist ja sowieso vor Ort und muss einfach nur ganz viele Fotos schießen. Dabei wird leider vergessen, dass auch Fotografen immer noch vorwiegend für die Zeitung arbeiten. Schließlich gibt es dort einen Redaktionsschluss. Ist dann kein Foto auf der Seite, dann gibt es richtig Ärger.

Also werden von einer Veranstaltung die bekannten Formate “abgeschossen”: Hände schütteln, Band durchschneiden, Spaten in den Sand, eine Frau zeigt auf etwas. Dann wird die Ausrüstung schnell wieder eingepackt, weil bereits der nächste Termin im Kalender steht. Sofern es überhaupt noch fest angestellte Fotografen gibt, werden diese im Akkord durch die Termine getrieben. Klickträchtige Veranstaltungen wie Sport und Party werden von ihnen in der Regel gar nicht mehr wahrgenommen. Das machen dann freie Mitarbeiter für wenig Geld und viel Ehre, weil ihr Name unter der Bildergalerie steht.

Ist die Bildergalerie von der letzten Schaumparty dann nach einigen Tagen endlich im Netz, wird sie zwischen den vielen anderen unstrukturierten lokalen Themen zwischen Dackelschau und Verkehrsunfall kaum gefunden. Die Partybilder mögen vielleicht rein theoretisch viele Klicks junger Nutzer bringen, praktisch jedoch bewegen sich auf der Internetpräsenz einer Regionalzeitung eher deren Eltern und Großeltern, auch wenn der Bundesverband Deutscher Zeitungsverleger (BDZV) die Zahlen gern anders interpretiert. Demnach sorgen die 14- bis 29-Jährigen "mit 67 Prozent Reichweite für die höchsten Werte bei den Online-Angeboten der Zeitungen" (BDZV, Bundesverband deutscher Zeitungsverleger e.V., http://www.bdzv.de/maerkte-und-daten/wirtschaftliche-lage/zeitungen-in-zahlen-und-daten/6/16, [BDZ1]). Zwei von drei jungen Erwachsenen sehen sich wenigstens ein Mal im Monat die Internetpräsenz einer Tageszeitung an. Wirklich viel ist das nicht.

Spätestens seit Instagram und dem Eternal Scroll sind Bildergalerien nur eine hinderliche Reihenschaltung von Fotos, um mit jedem Klick die Zahlen der IVW auf zu hübschen. Dort wurden für alle registrierten Angebote im Mai 2017 45,804 Milliarden Page Impressions und 7,362 Milliarden Visits gemessen. Das entspricht einem Verhältnis von 6,2 Seiten pro Visits. Ganz anders die Zahlen für das digitale Portfolio einer regionalen Tageszeitung. So hat MAZ-online.de im gleichen Zeitraum insgesamt 7.409.216 Page Impressions und 2.276.186 Visits erzielt, was durchschnittlich nur 3,3 PIs pro Visit entspricht. Inklusive Bildergalerien. Diese sorgen zumindest zum Teil dafür, dass am PC und Tablet wenigstens 4,3 PIs pro Visits gemessen werden. Auf Smartphones sinkt diese Zahl bei MAZ-online.de im Mai 2017 auf nur 2,3 Page Impressions pro Visit. Wer sich die mobil optimierte Präsenz der MAZ auf einem Smartphone ansieht, betrachtet dabei durchschnittlich zwei Seiten.

Noch deutlicher wird die mangelnde Loyalität der Nutzer, wenn man die Zahlen wirklich auf einzelne Personen herunterbricht. Wie häufig kommen die Nutzer auf die digitalen Seiten einer Tageszeitung? Hier helfen Zahlen der Arbeitsgemeinschaft Onlineforschung (AGOF) weiter. Für MAZ-online.de wurden bei den digital facts 03/2017 insgesamt 740.000 eindeutige Nutzer (Unique User) identifiziert. Sie haben im März laut IVW für 2.377.787 Visits gesorgt. Das entspricht durchschnittlich 3,2 Visits pro Nutzer - in einem ganzen Monat. An PC und Tablet sind es demnach sogar nur 2,7 Visits pro Nutzer, am Smartphone hingegen 3,4. Der große Vorteil eines Zeitungsabonnements, regelmäßige Zustellung und damit auch regelmäßiger Kontakt mit dem Leser, fehlt in der digitalen Welt.

In jeder Region passiert sicher häufiger etwas Relevantes als nur drei Mal in einem Monat. Es gibt an einem dieser Tage sicher auch mehr zu erfahren als auf drei Seiten passt. Was also ist die Ursache dieser seltenen Stippvisiten? Besitzer eines Smartphones werden wissen, dass sie einige Apps oder Seiten wesentlich häufiger öffnen als das Angebot der regionalen Tageszeitung. Rein technische Gründe können deshalb als Ursache ausgeschlossen werden, was den Fokus auf die Inhalte wirft.

3 Inhaltliche Arbeit

In den zurückliegenden Jahren haben die meisten Zeitungshäuser ihre digitalen Experimentierstuben wieder zurück ins Haupthaus geholt. Die "Onliner" sitzen brav in einer Ecke am neudeutschen News Desk und tippen für die eigenen Seiten. Im besten Fall bietet das Redaktionssystem die Möglichkeit, Inhalte gemeinsam zu bearbeiten und unterschiedliche Fassungen auf den jeweiligen Plattformen auszuspielen.

Wer sich "digital first" auf die Fahnen geschrieben hat, publiziert zunächst Häppchen bei Twitter sowie an die Leser-Gruppen bei Snapchat und WhatsApp. Der stärkste Kanal ist jedoch Facebook. Hier können die meisten Nutzer erreicht und auf das eigene Angebot aufmerksam gemacht werden. Die sozialen Medien als Lockstoff für das eigene, selbst vermarktete Angebot.

Dabei hätte es Facebook viel lieber gesehen, wenn nicht nur Ankündigungen, sondern gleich ganze Geschichten als Instant Articles direkt bei Facebook veröffentlicht werden. Das scheint jedoch dem Grundverständnis etablierter Medien zu widersprechen, möglichst eigene Inhalte, eine eigene Vermarktung und eigene Kundenbeziehungen zu pflegen. Die ersten großen Titel wie The Guardian und die New York Times oder in Deutschland WeltN24 haben ihre Zelte bei Facebook bereits wieder abgebrochen, weil ihre Erwartungen in den Erfolg der Instant Articles nicht erfüllt worden seien sollen (Heise Medien GmbH & Co. KG, https://www.heise.de/newsticker/meldung/Facebook-Instant-Articles-Zwischenfazit-mit-Stimmungsdaempfer-3725578.html, [HM1]) An dieser Stelle zeigt sich sehr gut das Dilemma, in dem alle klassischen Medienhäuser stecken. Sie wollen nicht anerkennen, dass soziale Medien wie Facebook ihnen den Rang ablaufen und selbst zu Medien werden. Facebooks Chef Mark Zuckerberg sträubt sich zwar noch gegen diese Einordnung, schließlich bringt sie auch Verpflichtungen wie eine inhaltliche Kontrolle mit sich. Dessen ungeachtet funktioniert ein soziales Netzwerk bereits wie ein Medienhaus: Inhalte externer Dienstleister (Reporter, Korrespondenten, Agenturen) werden gesammelt, sortiert und bearbeitet und das Beste davon auf Zeitungsseiten gedruckt oder im Fernsehen in eine Nachrichtensendung gedrückt. Alles passt nicht, es erfolgt eine Selektion der vermeintlich wichtigsten Themen.

Diese Aufgabe von Redakteuren werden mittelfristig Seiten wie Facebook übernehmen und Inhalte für ihre Nutzer kuratieren. Weil aber auch nicht alle Meldungen in den Newsfeed eines Nutzers passen, selektiert ein Algorithmus für jeden Nutzer individuell die vermeintlich besten Meldungen - nur eben aus vielen unterschiedlichen Quellen. Weil sich darunter auch sogenannte Fake News befinden können, Gerüchte oder gezielte Falschmeldungen, benötigt Facebook plötzlich selbst eine redaktionelle Kontrollinstanz.

"Wenn Facebook selbst in den Journalismus einstiege, dann hätte das dramatische Folgen, ökonomisch, politisch, gesellschaftlich, mindestens für die Vereinigten Staaten, potenziell für die ganze Welt", warnen Moritz Müller-Wirth und Heinrich Wefing Ende 2016 bei zeit.de (Zeit Online GmbH, http://www.zeit.de/2016/46/journalismus-facebook-twitter-silicon-valley-demokratie-politik, [ZON1]). Medien wie Politiker fürchten das Gespenst

eines globalen Medienhauses, das jeden Menschen dieser Erde gezielt mit Informationen versorgen bzw. beeinflussen kann. Deshalb bemüht sich Facebook um Alliierte und startet ein breit angelegtes Journalismus-Projekt. Auf diese Weise will sich der Konzern stärker mit Medienpartnern vernetzen (Spiegel Online GmbH, http://www.spiegel.de/netzwelt/web/facebook-startet-journalismus-projekt-a-1129583.html, [SpO1]).

Doch selbst mit qualitativ hochwertigen Inhalten besteht die Möglichkeit, dass sich jeder Nutzer durch seine individuellen Vorlieben bei Facebook und dessen Algorithmus mit einer Filterblase umgibt. Deren Einfluss sollte jedoch nicht zu hoch bewertet werden, warnt der Erfinder des Begriffs, Journalist und Autor Eli Pariser: “Menschen bilden sich ihre Meinung ja nicht nur auf Facebook. Im Gegenteil: Klassische Medien sind immer noch deutlich wichtiger.“ (Süddeutsche Zeitung GmbH, http://www.sueddeutsche.de/digital/facebook-filterblase-selbst-schuld-1.3479639, [SZ1]).

Und ihre Bedeutung könnte sogar steigen. Allerdings müssen sich die Medien dafür neu erfinden oder zumindest ihr gegenwärtiges Geschäftsmodell überdenken. Das dürfte gerade für digitale Ableger traditioneller Medien nicht schwer werden, bricht ihnen doch die seit Jahren praktizierte Vermarktung über Reichweite, die mit Bannerwerbung monetarisiert werden soll, angesichts der Verbreitung von AdBlockern wie ein Kartenhaus zusammen. Auch die unterschiedlichen Ansätze, für redaktionelle Inhalte in der digitalen Welt Geld zu verlangen, greifen nicht wirklich.

4 Paid Content

Nach Vorstellung vieler Autoren und Medienhäuser soll zwar jede journalistische Arbeit unabhängig von ihrem Trägermedium bezahlt werden. Doch ist der Transaktionsaufwand für den Nutzer sehr hoch. Im Gegensatz zu einer einheitlichen Währung wie dem Euro existieren in Digitalien die unterschiedlichsten Bezahlmodelle vom Digitalabo über Micropayment bis zu einer Art kostenpflichtigem Lesezirkel wie Readly oder Blendle.

Grundsätzlich wird zwischen den folgenden Bezahlmodellen unterschieden:

- Harte Bezahlschranke: Ausschließliche zahlende Kunden können das Online-Angebot der Zeitung nutzen, für alle anderen ist es nicht zugänglich. In der Regel wird die harte Bezahlschranke über ein Abo-Modell abgerechnet.
- Freemium: Das Wort setzt sich aus Free und Premium zusammen, wobei in der Regel die exklusiven und vermeintlich nutzwertigen Inhalte kostenpflichtig sind. Das Zeitungshaus setzt darauf, dass diese Inhalte für den Leser so werthaltig sind, dass er dafür bezahlt. Dabei muss der Inhalt so exklusiv sein, dass er nicht an anderer Stelle im Internet kostenfrei konsumiert werden kann.
- Metered Model: Eine bestimmte Zahl eigentlich kostenpflichtiger Inhalte wird einem Nutzer kostenfrei angeboten. Auf diese Weise soll der Leser die Qualität der

Beiträge kennenlernen, um sich später nach Möglichkeit zu registrieren und danach vielleicht sogar für exklusive Inhalte zu zahlen.

- Spende: Bei der freiwilligen Bezahlung entscheidet der Nutzer selbst, ob und in welcher Höhe er für die Inhalte bezahlen möchte. Eine Abwandlung der Spende ist die Möglichkeit, über LaterPay zunächst kostenfrei Inhalte konsumieren zu können. Deren virtueller Wert wird dabei angezeigt und nach Erreichen einer geringen Zielsumme zur Zahlung aufgefordert. Mit AltPay hingegen kann sich der Nutzer eine werbefreie Internetseite erkaufen (BDZV, Bundesverband deutscher Zeitungsverleger e.V., http://www.bdzv.de/maerkte-und-daten/digitales/paidcontent/, [BDZ2]), [(lead digital, Verlag werben & Verkaufen GmbH, http://www.lead-digital.de/aktuell/social_media/altpay_fuer_publisher_bezahldienst_als_alternative_zu_werbung, [Ld1])

Konkrete Zahlen oder Beträge, die einen Erfolg von bezahlten digitalen Inhalten belegen könnten, sind nicht zu finden. Dieser Umstand allein belegt jedoch zumindest indirekt, dass die Erlösströme eher einem Rinnsal gleichen. Schließlich existiert auch kein einheitliches Zahlungsmittel. Vielmehr soll sich ein Leser, wie in der analogen Medienwelt, möglichst auf ein oder zwei Titel konzentrieren und deren Inhalte über Digitalabos dauerhaft lesen können.

Selbst wenn es eine einheitliche Lösung für die Bezahlung von digitalen Inhalten gäbe, dann steht und fällt deren Erfolg immer noch mit der Qualität der Inhalte. Wofür würden Nutzer einen konkreten Betrag ausgeben? Wie viel ist ein Bericht vom Jahrestreffen des Kaninchenzüchtervereins wert? Oder die Einschätzung zum neu geplanten Radweg? Oder der Kommentar zum kalten Wasser im Schwimmbad? Hier zeigt sich das wahre Dilemma regionaler Nachrichten. Sie verfügen zwar über viele relevante Informationen, die jedoch weitgehend als ‘nice to have’ zu bewerten sind. Und deren Zielgruppe ist auch noch relativ klein. Selbst wenn also für einen Inhalt gezahlt würde, gäbe es nur wenige zahlende Nutzer.

Haben sich Journalisten anfangs noch einen Verkauf ihrer Texte gewünscht, so ist diese Idee inzwischen weitgehend verflogen. Schließlich sind nicht nur die Verkäufer, sondern auch die Redakteure von Zahlen getrieben. Viele Leser des eigenen Textes vermitteln Relevanz. Und gerade digital kann die Zahl der Leser sehr genau ermittelt werden. Steht der eigene Text dann jedoch hinter einer Bezahlschranke und die Zahl der Leser bricht ein, dann sieht das in der nächsten Redaktionskonferenz gar nicht gut aus. Außerdem hatte der Pressesprecher des Unternehmens, über das berichtet worden ist, gar keine Möglichkeit, den Artikel online zu lesen. Wie schnell wird da der nächste Text lieber gleich freigeschaltet (the balance, a Dotdash Company, https://www.thebalance.com/paid-free-and-freemium-content-2315319, [TB1]).

Ganz anders sieht es zum Beispiel in der Wirtschaftsberichterstattung aus. So gibt es immer noch zahlende Kunden für das Terminal von Bloomberg (Bloomberg, https://www.bloomberg.com/professional/solution/bloomberg-terminal/, [Bl1]). Sie sind

bereit, für zeitnahe relevante Informationen jedes Jahr einen fünfstelligen Betrag zu zahlen. Zumindest wurden 2001 jährlich 25.000 US-Dollar aufgerufen. Damals hatte das Nachrichtenunternehmen 160.000 Abonnenten. 2013 sollen es mehr als 300.000 gewesen sein. Wer zu dieser Zeit mindestens zwei Terminals abonniert hatte, soll pro Gerät immerhin noch 20.000 US-Dollar gezahlt haben (Quartz, an Atlantic Media Company, https://qz.com/84961/this-is-how-much-a-bloomberg-terminal-costs/, [QA1]).

Nutzer geben Geld für redaktionelle Inhalte im Internet aus. Sie überlegen sich nur sehr genau, für wen und für was sie ihr Geld ausgeben. Eine aktuelle Studie des American Press Institute (API) belegt, dass allgemeine Themen zwar gern gelesen werden. General Interest ist jedoch kein Inhalt, für den es eine messbare Zahlungsbereitschaft gibt. Gezahlt wird auch nicht einfach für einen Zugang zu Inhalten oder Seiten, wie es bei einem Digitalabo durchgesetzt werden soll (American Press Institute, https://www.americanpressinstitute.org/publications/reports/survey-research/who-pays-for-news/, [AP2]). Vielmehr wird sehr selektiv für journalistische Inhalte gezahlt. So sind für "News Seeker" vor allem die Themen und die journalistische Kompetenz eines Mediums entscheidend. Das finanzielle Potential ist jedoch begrenzt. So gaben die Nichtzahler in der Studie an, dass sie wöchentlich nicht mehr als 1 US-Dollar für redaktionelle Inhalte bereit wären zu zahlen (American Press Institute, https://www.americanpressinstitute.org/publications/reports/survey-research/paying-for-news/, [AP1]).

Unabhängig von exklusiven, passenden Inhalten für zahlende Kunden oder kostenfreier Lokalberichterstattung ist ein Nutzer in der digitalen Medienwelt angesichts der inhaltlichen Vielfalt ständig einem gewissen Selektionsdruck ausgesetzt. Dieser wird zwar durch Portale wie Facebook reduziert. Dennoch hat die Digitalisierung zu einer Atomisierung der Inhalte geführt. Dabei steht jeder Inhalt jederzeit im direkten Wettbewerb mit allen anderen Inhalten. Medien fungieren lediglich als eine Art Dachmarke, die einem Text oder Video eine gewisse Glaubwürdigkeit verleiht.

5 Was ist zu tun?

Durch die Digitalisierung stecken insbesondere die Tageszeitungen in einem Dilemma. Ihr Geschäftsmodell löst sich langsam aber sicher auf. Letztlich können digitale Portale alle Prozesse eines Medienhauses besser erledigen, als es das Medienhaus viele Jahrzehnte lang als Kombiprodukt "Tageszeitung" produzieren und vertreiben konnte. So gibt es bereits gute etablierte Portale für Stellen-, Immobilien- und Kleinanzeigen. Es entbehrt nicht einer gewissen Ironie, dass gerade die Todesanzeigen noch vorwiegend von den Zeitungen selbst ins Internet kopiert werden.

Aber nicht nur der gedruckte Anzeigenmarkt ist in Gefahr, auch die redaktionellen Inhalte werden digital schneller und einfacher publiziert als auf Papier. Die Digitalisierung führt nicht zu einer Atomisierung der Inhalte. Auch die Zahl der Quellen steigt so stark an, dass sie nicht mehr auf absolute Verlässlichkeit hin überprüft werden können. Sogenannte Fake News, irrtümliche oder bewusste Falschmeldungen, können unerkannt freigesetzt und wie

alle Inhalte über soziale Medien leicht weiter verbreitet werden. In diesem Wettrennen um Aufmerksamkeit jedoch dürfen die Medienhäuser ihren letzten großen Wert nicht noch verlieren: Die Glaubwürdigkeit ihrer Marke.

“Gerade in Zeiten von Fake News sind glaubwürdige Quellen wichtiger denn je. Bürger vertrauen den Zeitungen. Und sie vertrauen auch der Zeitungswerbung. Sie wird als besonders glaubwürdig und nützlich wahrgenommen und aktiv für den Einkauf genutzt – ein starkes Signal für Werbungtreibende“, so Alexander Potgeter, Leiter Forschung der ZMG Zeitungs Marketing Gesellschaft.” (BDZV, Bundesverband deutscher Zeitungsverleger e.V., http://www.die-zeitungen.de/argumente/zeitungsqualitaeten.html, [BDZ3]).

Die Marke einer Tageszeitung steht für Qualität. Deshalb sollten sich die Medienhäuser darauf konzentrieren, was sie besonders gut können. Bei Regionalzeitungen ist das auf jeden Fall die Lokalberichterstattung. Die Journalisten haben den direkten Draht zu den Entscheidern wie zu den Betroffenen. Allerdings sollten die daraus entstehenden Geschichten nicht mehr vorrangig für eine Veröffentlichung auf dem Papier geplant und geschrieben werden.

Das erfordert ein grundsätzliches Umdenken in den Köpfen der meisten Journalisten wie in den Arbeitsabläufen der meisten Redaktionen. Sie konzentrieren sich noch immer, völlig verständlich, auf den täglichen Redaktionsschluss. Ihm folgt ein Drucktermin, der genau abgestimmt ist auf die komplizierte Logistik der Zustellung. Ist dann die Zeitung morgens nicht rechtzeitig im Kasten, hagelt es Beschwerden und die Meldungen können erst abends gelesen werden, wenn überhaupt. Kurzum: Schreibt der Redakteur zu lange an seiner Story, steht die Oma nachts im Regen und wartet auf ihre Exemplare, die sie eigentlich jetzt in der Nachbarschaft verteilen soll.

Deshalb sollten sich Regionalzeitungen konzentrieren, inhaltlich wie in ihrer Erscheinungsweise. Der Redaktionsschluss für den Druck auf Papier ist final, er lässt keine weitere Entwicklung eines Thema zu. Das war noch zeitgemäß, als das “Newspaper” der wesentliche Überbringer von Nachrichten gewesen ist. Der digitale Wettbewerb hingegen lässt die News einer Zeitung jetzt relativ old aussehen. Deshalb ist es an der Zeit, dass sich Zeitungen von ihrer täglichen Erscheinungsweise verabschieden und nur noch dann verkauft werden, wenn sich das auch finanziell richtig lohnt. Mittwochs und samstags fallen immer noch die meisten Beilagen aus dem Blatt, das an diesen Tagen auch im Innenteil einen größeren Teil an bezahlten Anzeigen aufweist.

Bei zwei Tagen pro Woche ist für die vermeintlichen Neuigkeiten, die News, kein Platz mehr. Sie weichen relevanten Geschichten, für die plötzlich wieder länger recherchiert werden kann. Auf der großen Fläche einer Zeitungsseite gibt es neben regional relevanten Geschichten und hintergründigen Interviews auch noch Platz für schöne Fotostrecken und Grafiken, die einen Sachverhalt verständlich machen. Damit schafft der Titel einen wichtigen Grund, die Regionalzeitung zu abonnieren. Schließlich wollen sich die Menschen einer Region immer noch in Ruhe über das Geschehen in ihrer Umgebung informieren.

Dafür gibt es unterschiedliche Produktionstechniken und eine Vielzahl an Trägermedien. So können Geschichten immer noch als Text festgehalten werden. Dieser muss dann allerdings mehreren Versionen verfasst werden, für eine große Zeitungsseite anders als für den Bildschirm eines Smartphones. Digital kann auch immer noch aktuell berichtet werden. Oder ein Video fängt die Stimmung vor Ort so authentisch ein, dass die Zuschauer sich noch lange gern daran erinnern.

Der Theodor-Wolff-Preisträger Benjamin Piel unterscheidet jedoch gar nicht zwischen Produktionstechniken oder Trägermedium. Er appelliert vielmehr bei kress.de mit fünf Thesen für einen modernen Lokaljournalismus. Demnach sollten Lokaljournalisten auf Augenhöhe mit ihren Lesern arbeiten. “Ein Lokaljournalist kann mit der Ungerechtigkeit in seinem Umfeld nicht leben wie in einer Villa. Er lebt mit der Ungerechtigkeit wie mit einem löchrigen Dach: Dagegen muss man etwas tun.” Außerdem seien sie keine Pfarrer, die von einer hohen Kanzel in den leeren Kirchenraum hinein predigen. “Nur wer mit den Menschen spricht, hört, wo sie der Schuh drückt”.

Doch was sollen, was wollen die Menschen im Einzugsgebiet einer Lokalzeitung lesen? Hilfreich sei dabei immer die Frage, so Benjamin Piel, welchen Bezug ein Thema zum Leben der Menschen habe. Pressetermine seien zwar bequem, wären aber nur Garant für Mittelmäßigkeit. Um sich davon abzusetzen, müsse die Wortwahl im Lokaljournalismus herausstechen: “Stil und Sprache im Lokaljournalismus sind manchmal so erwartbar wie Nonnen im Kloster”, ärgert sich Benjamin Piel. “Lokaljournalismus ist nicht Kaninchenzüchterverein, sondern harte Arbeit, Disziplin, Beharrlichkeit, Standfestigkeit, Zähigkeit.” (kress.de, Johan Oberauer GmbH, https://kress.de/mail/news/detail/beitrag/137909-theodor-wolff-preistraeger-benjamin-piel-wie-sich-der-lokaljournalismus-aendern-muss.html, [Kr1]).

6 Resümee

Mit einem Verkauf von Inhalten auf Papier lässt sich noch Geld verdienen, mit dem Verkauf digitaler Inhalte lässt sich Geld verdienen. Zeitungen haben eine Chance, wenn sie in Zukunft eine eindeutige Doppelstrategie aus Papier und Digital verfolgen. Dafür müssen sie sich jedoch spezialisieren und fokussieren. Jedes Trägermedium hat seine Vor- und Nachteile. Diese gilt es zu kennen, zu nutzen und auch zu vermeiden.

Die Marke einer Zeitung, ihre Qualität und Verlässlichkeit, gibt die Richtung vor. Aus der Berichterstattung muss der Zeitdruck herausgenommen werden. Schnell sind die anderen, machen deshalb aber immer auch mal Fehler. Das darf einer Zeitung zum Schutz ihrer Marke nicht passieren, getreu dem Motto: “Wer’s eilig hat, soll langsam machen.”

Wie lässt sich als Zeitung in Zukunft noch Geld verdienen? Mit Reichweite und Bannerwerbung sicher nicht. Bislang ist vor allem für Quantität gearbeitet worden, die über Bannerwerbung monetarisiert werden sollte. Bei Papier und Digital gilt gleichermaßen: Masse

statt Klasse. Doch auf den digitalen Seiten nimmt das Inventar an vermarktbaren Flächen immer weiter zu. Mit steigenden Preisen ist deshalb nicht zu rechnen.

Außerdem ist Bannerwerbung nicht zeitgemäß. Es spricht für sich, wenn in Deutschland auf jedem fünften PC ein adBlocker installiert ist. Spätestens 2018 wird Bannerwerbung ganz aussterben, wenn Google den eigenen Chrome-Browser quasi ab Werk mit einem AdBlocker ausstattet. Danach werden bezahlte PR-Berichte als attraktive Werbeform ihren endgültigen Siegeszug beginnen.

Zeitungen müssen relevante Zielgruppen identifizieren und mit qualitativ hochwertigen Inhalten dauerhaft an den Titel binden. Dabei reicht eine Unterteilung der digitalen Angebote in Landkreise oder Städte bei weitem nicht mehr aus. Hyperlocal Targeting kann von Maschinen beziehungsweise dem AdServer von Google besser ausgeführt werden als durch Lokalausgaben, die aus der Struktur der Zeitung ins Internet übernommen worden sind.

Bei der Produktion von Inhalten müssen technische Zwänge überwunden werden. Schnittstellen machen Veränderungen in den Prozessen nahezu unmöglich. Der Redaktionsschluss priorisiert immer noch das Papier, erst danach folgt Digital. So sehen die meisten Internetpräsenzen dann auch aus. Sie sind Kopien der Zeitungen, ergänzt um schnelle kurze Blaulicht-Meldungen. Doch gerade digital können ganz neue Erzählformate wie Datenjournalismus und interaktive Reportagen realisiert werden. Wenn es Mitarbeiter gibt, die mit der neuen Technik umgehen können, die dafür angeschafft werden muss.

An dieser Stelle kann auch mit einem Irrglauben aufgeräumt werden: Nein, mit ein paar Seiten im Internet werden nicht junge potentielle Leser erreicht, die vielleicht später sogar ein Zeitungsabo abschließen. Aber die Daten der Menschen in der Region sind ein Schatz, der gehoben werden kann. Junge Menschen haben vielleicht einen unbefristeten Job bekommen - und können sich jetzt ein Abo leisten. Rentner haben mehr Zeit. Warum ihnen dann nicht auch mehr Inhalte anbieten? Junge Menschen können an die Marke einer Regionalzeitung herangeführt werden. Aber nicht mit “irgendwas online”, sondern mit einer adäquaten Ansprache dieser scheuen Zielgruppe. Sie kann über soziale Medien und Empfehlungen aus dem Freundeskreis erreicht werden. Dann muss jedoch eine Bindung aufgebaut werden, durch Engagement und Interaktion. Auch junge Menschen zahlen für Inhalte. Allerdings müssen sie dafür erkennen, wohin die gemeinsame Reise gehen soll. “Bei uns gibt’s täglich alles Regionale” reicht da als Mission nicht aus.

In der aktuellen Studie des American Press Institute zumindest war nur einer von zehn befragten US-Bürgern der Auffassung, zu viel für sein Abonnement zu zahlen. Digitalabonnenten haben noch mehr als Zeitungsabonnenten (48 Prozent gegenüber 32 Prozent) das Gefühl, dass sie für ihr Geld einen guten Gegenwert erhalten (American Press institute, https://www.americanpressinstitute.org/publications/reports/survey-research/paying-for-news/, [AP1]). Daraus lässt sich zumindest das Potential für eine Preiserhöhung bei Digitalabos ableiten. Sie sind ganz offensichtlich nicht nur die billige Form des “echten” Zeitungsabos.

Liebe Regionalzeitungen, traut Euch was. Ihr habt gute Mitarbeiter und Ihr habt gute Produkte. Versteckt Euch nicht hinter dem Papier und schiebt die digitalen Seiten als Bösewicht nach vorn, der Euch das Geschäft mit dem Verkauf von bedrucktem Papier kaputt machen will. Jammern hilft nichts. Kommt aus der Deckung, liebe Regionalzeitungen, und werdet endlich aktiv. Eure Zukunft ist digital. Liefert dafür weniger Masse und mehr Klasse.

Literaturverzeichnis

[AP1] American Press Institute, https://www.americanpressinstitute.org/publications/reports/survey-research/paying-for-news/, Stand: 22. Juni 2017.

[AP2] American Press Institute, https://www.americanpressinstitute.org/publications/reports/survey-research/who-pays-for-news/, Stand: 22.06.2017.

[BDZ1] BDZV, Bundesverband deutscher Zeitungsverleger e.V., http://www.bdzv.de/maerkte-und-daten/wirtschaftliche-lage/zeitungen-in-zahlen-und-daten/6/16, Stand: 15. Juni 2017.

[BDZ2] BDZV, Bundesverband deutscher Zeitungsverleger e.V.,http://www.bdzv.de/maerkte-und-daten/digitales/paidcontent/, Stand: 16.06.2017.

[BDZ3] BDZV, Bundesverband deutscher Zeitungsverleger e.V., http://www.die-zeitungen.de/argumente/zeitungsqualitaeten.html, Stand: 15. Juni 2017.

[Bl1] Bloomberg, https://www.bloomberg.com/professional/solution/bloomberg-terminal/, Stand: 21.06.2017.

[HM1] Heise Medien GmbH & Co. KG, https://www.heise.de/newsticker/meldung/Facebook-Instant-Articles-Zwischenfazit-mit-Stimmungsdaempfer-3725578.html, Stand: 21.06.2017.

[Kr1] kress.de, Johan Oberauer GmbH, https://kress.de/mail/news/detail/beitrag/137909-theodor-wolff-preistraeger-benjamin-piel-wie-sich-der-lokaljournalismus-aendern-muss.html, Stand: 15. Juni 2017.

[Ld1] lead digital, Verlag werben & Verkaufen GmbH, http://www.lead-digital.de/aktuell/social_media/altpay_fuer_publisher_bezahldienst_als_alternative_zu_werbung, Stand: 16.06.2017.

[QA1] Quartz, an Atlantic Media Company, https://qz.com/84961/this-is-how-much-a-bloomberg-terminal-costs/, Stand: 21.06.2017.

[SpO1] Spiegel Online GmbH, http://www.spiegel.de/netzwelt/web/facebook-startet-journalismus-projekt-a-1129583.html, Stand: 21.06.2017.

[SZ1] Süddeutsche Zeitung GmbH, http://www.sueddeutsche.de/digital/facebook-filterblase-selbst-schuld-1.3479639, Stand: 21.06.2017.

[TB11 the balance, a Dotdash Company, https://www.thebalance.com/paid-free-and-freemium-content-2315319, Stand: 20.06.2017.

[ZON1] Zeit Online GmbH, http://www.zeit.de/2016/46/journalismus-facebook-twitter-silicon-valley-demokratie-politik, Stand: 21.06.2017.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 1847

Intelligent Content im Publishing 4.0

Thomas Kaspar[1]

Abstract: Unter Publishing 4.0 ist die Weiterentwicklung bisheriger sendender Publikations–methodiken zu verstehen, welche die Begleitung des Nutzers anstrebt. Um dieses Begleiten des Nutzers auf allen Kanälen und interaktiv zu ermöglich bedarf es neuer Formen von Content. Unter Intelligent Content verstehen wir modularen, strukturierten, wiederverwendbaren, formatfreien und semantisch angereicherten Inhalt.

Keywords: Intelligent Content, Publishing 4.0 Atomic Design, Component Content Management System

1 Einleitung

Publisher stehen heute vor der Herausforderung, dass klassische Texte bei weitem nicht mehr die Erwartungshaltung der Nutzer erfüllen. Auch multimedial angereicherte Stücke sind nicht mehr wegweisend und genügen in der mobilen und schnellen Welt nicht mehr den Ansprüchen. Die Millenials und jünger sind kaum noch die klassischen Nutzungs-weisen „alter" Inhaltsstücke gewohnt.

In der Weiterentwicklung der Beziehung zwischen Inhalt und Nutzer sehen wir heute vier Stufen:

- Publishing 1.0 – Das klassische Lesestück durchaus auch multimedial
- Publishing 2.0 – Der Inhalt mit Interaktionsfunktion. Dies ist überwiegend in Form von Kommentarfunktionen oder Diskussionsforen der Fall. Hier entsteht der Rückkanal vom Nutzer zum Autor und die erste Form von Verbindung zu den Mitlesern
- Publishing 3.0 – Hier setzen die sozialen Medien ein, Inhalte werden geteilt, einem breiten Publikum über Posts zugänglich gemacht. Dieses vernetzen ist mehr als nur eine Emailempfehlung, es eine stärkere Interaktion mit dem Empfänger oder meist der Empfängergruppe.
- Publishing 4.0 – Beschreibt ein Begleiten des Nutzers. Hier verknüpft sich der Publisher eng mit dem Nutzer. Ziel des Begleitens ist den Nutzer über einen längeren Zeitraum, über alle Kanäle mit der gleichen Haltung über die für den

[1] Thomas H. Kaspar, Chief Product Officer, Chefredakteur, Ippen Digital GmbH, München
thomas.kaspar@ippen-digital.de

doi:10.18420/in2017_183

Nutzer wichtigen Inhalten zu versorgen. Es geht um eine Loyalisierung der Nutzer und das Vergrößern des »lifetime value« des Nutzers für den Publisher.

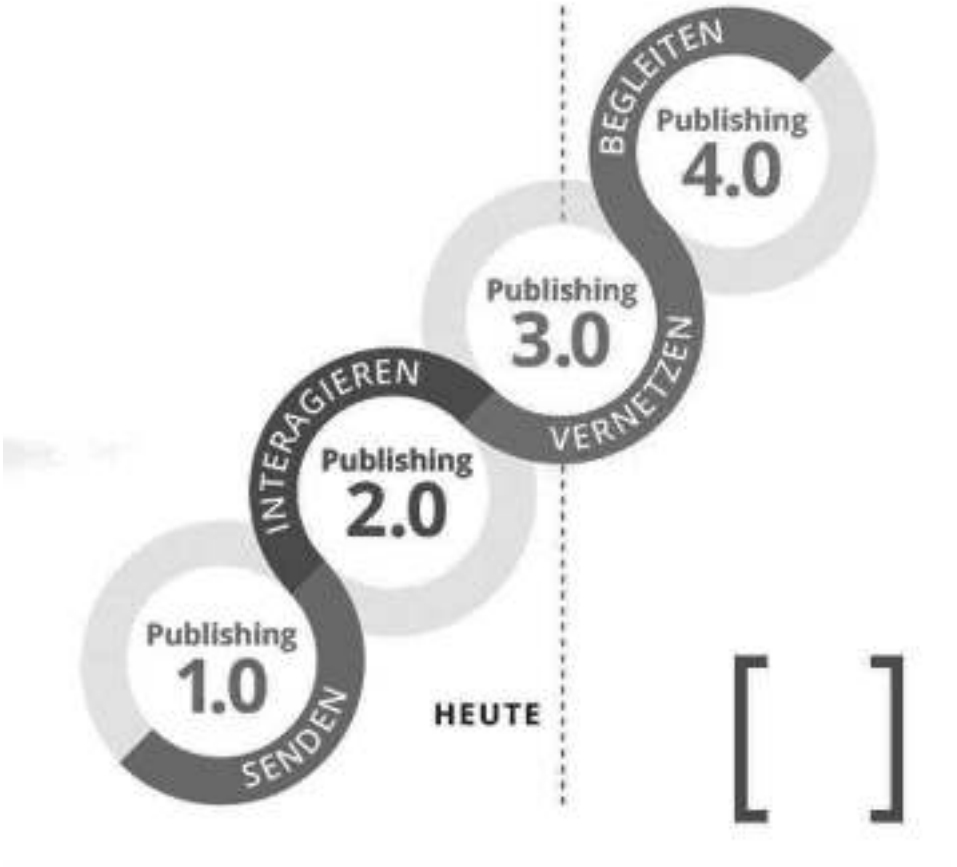


Abb. 1: Weiterentwicklung der Publishingmethodik

Im Rahmen des Publishing 4.0 ist die Kundenzentrik und Proaktivität von zentraler Bedeutung. Die vorherigen Publishingmethoden war Ausendungen von fertigem Inhalt der kommentiert oder geteilt wurde, am Content selbst war aber keine Interaktion mehr möglich.

Um erfolgreich Publishing 4.0 zu betreiben benötigt es »Intelligent Content«.



Abb. 2: »Intelligent Content« als Voraussetzung für ein proaktives und kundenzentrisches Publizieren

2 Intelligent Content

Anne Rockley, XML-Pionierin und Evangelistin des gleichnamigen Konzeptes, Toronto, führt zur Definition des Konzeptes aus [RC12], [RCS15], [CMI]:

„Intelligent content is content that's structurally rich and semantically categorized and therefore automatically discoverable, reusable, reconfigurable and adaptable"

2.1 Contentanforderung - Modularität

Intelligent Content ist bewusst so konzipiert, dass er aus diskreten Komponenten besteht. Diese sind kontextfrei gekapselt, kombinierbar und einzeln pflegbar. Die Ursprungskomponente vererbt Änderungen in jede Verwendung. Idealerweise hat sie einen eigenen Lebenszyklus, in dem Autoren, Versionen, Status und Verwendungen getrackt, analysiert und bewertet werden können.

Mix-and-Match-Prinzip: Alle Elemente lassen sich frei aus dem Zusammenhang lösen und passen mit anderen zusammen.

- Von Beginn an als Komponenten geplant. Inhaltlicher Aufbau funktioniert eigenständig.
- Eigener Lebenszyklus (Autor, Version, Publikations-Status, Verwendung in Dokumenten, Verfallsdatum)
- Eigenes Tracking für jede Komponente und eigenes Reporting
- Getrennter QA-Prozess als Komponente

2.2 Contentanforderung - Strukturierung

Intelligent Content ist so aufbereitet, dass ihn Maschinen lesen, verstehen und nach Business-Regeln weiterverarbeiten können.

Grundbedingung ist, dass Intelligent Content zugleich die Bedingungen der User Experience erfüllt: Also zu messbaren und erklärbaren Verhaltensänderungen der Rezipienten führt. Intelligent Content ist konsistent organisiert und semantisch ausgezeichnet. Durch die kontextfreie Verwendung ermöglicht dies die Bewertung und Verarbeitung der einzelnen Komponente.

2.3 Contentanforderung - Wiederverwendbarkeit

Intelligent Content ist strategisch geplanter Content. Er wird in seinen Formaten und Inhalten für die Wiederverwertbarkeit produziert und gepflegt. Die automatisierte Auffindbarkeit ist ein entscheidendes Kriterium für einen effizienten Prozess der Erstellung, Veröffentlichung und Pflege. Guided Authoring (Anleitung der Autoren) ermöglicht eine Steuerung der Schnittstelle zwischen manuellen und automatisierten Prozessen.

Vererbungskonzept: Die Inhalte folgen einer strengen formalen und inhaltlichen Hierarchie, die Transklusion ermöglicht.

Transklusion bezeichnet das Einfügen von Inhalten in andere Inhalte durch Referenz. Current-Anforderung: Es wird nur das Ausgangsdokument gepflegt, die Aktualität wird vererbt. Consistent-Anforderung: Formaler Aufbau, der eine Querverwendung kontextfrei ermöglicht – die inhaltliche Konsistenz (tone of voice etc.) ist eine qualitative Anforderung, die als UX operationalisiert werden muss (Abbruchquote usf.)

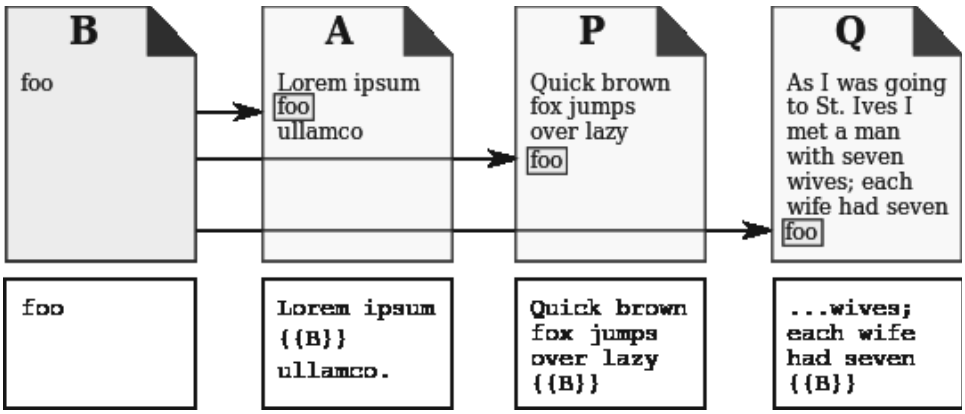


Abb. 3: Schema Transklusion (Quelle: https://www.innoq.com/de/blog/transclusion/)

2.4 Contentanforderung - Formatfreiheit

Trennung von Struktur, Inhalt und Design.

- Struktur: Biographie enthält Geburtsort, Geburtstag usf. (Schema.org)
- Inhalt: Konkrete Biographie von Fräulein Menke
- Design: auf RTL dunkelblau, Dschungelcamp-Seite grün, auf ntv schwarz-orange

Trennung von Kontext und Inhalt.

- Inhalt: Biographie: Fräulein Menkes größter Hit „Tretboot in Seenot“
- Kontext: Streitet sich mit Hanka Rackwitz in Dschungelcamp

Ausschlüsse:

- Keine Formatinformationen (Fett, Kursiv)
- keine eingebundenen Informationen (Facebook-Posting, Google Maps)
- keine propriäteren Formate (Chronik-Zeiten)
- keine Layout-Informationen (Headline,)
- keine absoluten Referenzen (Links, Seitennummern)

2.5 Contentanforderung – Semantische Anreicherung

Taxonomie: <meta name="author" content="Autorenname" />

Dokument: <meta name="author" content="Friedrich Schiller" />

Metadaten sind eine Taxonomie von Beschreibungen, die einem Inhalt für den Leser unsichtbar zugeordnet werden. Sie bestehen aus einem Stichwort („Tag") und einem Inhalt. Die Stichwörter sind gleichmäßig aufgebaut und werden verwendungsübergreifend gleich eingesetzt. Meta-Tags werden bei Intelligent Content auf jeder Ebene der Granularität der Komponenten eingesetzt.

Der gleichmäßige Aufbau der Hierarchie ist entscheidend für die Maschinenlesbarkeit und damit die automatisierte Verarbeitung.

Bei den Metadaten kann zwei Paradigmen gefolgt werden:

Tags

- Filterung nach Stichwörtern (Tags, Entitäten)
- z.B. zeige mir alle Dokumente, die Autoren enthalten.
- Z.B. Wie viele Tags sind dem Dokument zugeordnet?
- Entscheidend: kluge Taxonomie, die konsistent auf allen Ebenen eingesetzt und einhalten wird.
- Verwendung von Standard-Taxonomien, Formatplanung = Tag-Planung

Inhalte

- Filterung nach Inhalten
- Z.B. zeige mir alle Dokumente in denen Friedrich Schiller vorkommt (Als Autor, als Biographie, als Textelement, als Bild usf.)
- Z.B. Wie viele Autoren haben wir? Wie viele Texte haben wir, in denen Unternehmen zugeordnet sind?
- Entscheidend: Konsistenz des Inhalts (Schreibweise usf.) und Zuordnung von Inhalten zu Stichwörtern (Tag ist nicht vergessen, passender Tag usf.)
- Guided Authoring, Tag-Beschreibung und Dokumentation, Tag-Regeln für Formate

2.6 Kernfähigkeiten

Intelligent Content ist

- auffindbar: Durch den geplanten konsistenten Aufbau und die semantische Meta-Auszeichnung lassen sich die Elemente und ihre Inhalte einfach durchsuchen und finden. Ähnliche Vorschläge („Recommendations“) können in ihrer Zahl bestimmt und einfach zugeordnet werden.
- rekonfigurierbar: Durch die Kapselung der diskreten Komponenten („self contained systems“) können diese einfach aktualisiert, frei verschoben und verknüpft werden.
- anpassbar: Durch die Formatfreiheit und die Konsistenz lässt sich der Inhalt in verschiedenen Kontexten und Formaten vielseitig einsetzen.

2.7 Vorteile von Intelligent Content

- Konsistenz – ermöglicht die drei Kernfähigkeiten
- Usability – Einmaliges Testen von Inhalten, paradigmatisches Wiederverwenden
- Time to Market – Geschwindigkeit in der Erstellung sehr hoch
- Effiziente Produktion – Hohe Prozessorientiertung, genaue Definition von Automatismen und von manuellen Prozessen
- Rechtsrisiken – Einmalige Prüfung, genaue Anleitung von Autoren
- Agile Prinzipien auf Inhaltserstellung übertragen - Matching mit moderner Technik und Projektmanagement

3 Erzeugung von Intelligent Content

3.1 Guided Authoring

Eine der Kernfragen ist die Schnittstelle zwischen maschineller Verarbeitung und manueller Erstellung. Die Anleitung der Autoren ist dabei von sehr hoher Bedeutung für die Prozessqualität und die Content-Qualität.

- Grundverständnis erzeugen: Von der Schreibmaschinen-Denkweise zur kontextfreien, displayungebundenen, mehrsprachigen Inhaltserstellung
- Pattern-Regeln für Meta-Tags (Hinweise zu Form, Kundenbedürfnissen, Produkt-USP, Trigger-Anforderungen usf.)
- On-Screen Instruktionen zur Struktur und zu Meta-Tags (z.B. Jetzt eine Kurzversion. Ist dieses Zitat twitterfähig?)
- Drag & Drop der Komponenten, um Granularität zu zeigen
- Getrennter QA-Prozess als Komponente. Kollaborative Reviews auf Komponenten-Ebene und auf Dokumenten-Ebene (Trennung von Inhalten und Kontext)
- Pseudo WYSIWYG bei der Erstellung. Ggf. Hauptverwendungen visualisieren (Alter Mann am Desktop, ADHS-Leser mobil, Alexa-Sprachausgabe usf.)

3.2 Component Content Management System

- Von Beginn an als Komponenten geplant. Inhaltlicher Aufbau funktioniert eigenständig.
- Eigener Lebenszyklus (Autor, Version, Publikations-Status, Verwendung in Dokumenten, Verfallsdatum)
- Eigenes Tracking für jede Komponente und eigenes Reporting
- Struktur sichtbar mit Meta-Daten
- Suchfunktionen: Inhalt, Meta-Daten, Komponenten-Suche
- Prozess-Tracking (Ausfülldauer, Speicherdauer, Suchdauer)

4 Schlussfolgerungen

Durch die in ihm enthaltene reichhaltige Strukturinformation ist Intelligent Content stets auch »Transparent Content«. Bei der Erstellung ermöglicht ein getrennter (und unabhängiger) QA Prozess für Komponenten frühzeitig eine verteilte Verifikation der Inhalte nach dem „Mehr-Augen Prinzip“. Intelligent Content beinhaltet insbesondere auch Metadaten über seiner Entstehungs- und Verwendungsgeschichte. Er trägt damit zu einer authentischen und glaubwürdigen Berichterstattung bei. Die enthaltenen Metadaten über Entstehung und bisherige Verwendung können zu einer Bewertung der Glaubwürdigkeit des Berichteten – auch in einer maschinellen Analyse – herangezogen werden können. Dies schließt die Bewertung und Verifikation der Metadaten durch Vergleich mit den Ergebnissen einer unabhängigen, externen Recherche im Internet mit ein. Durch diese die Glaubwürdigkeit unterstützenden Metadaten erfüllt Intelligent Content einen wesentlichen Aspekt der Nutzeranforderungen und Erwartungen an Publishing 4.0.

Literaturverzeichnis

[CMI] CMI Content Marketing Institute: What is Intelligent Content? http://contentmarketinginstitute.com/what-is-intelligent-content/, abgerufen am 15.06.17

[RC12] Rockley, A.; Cooper, C.: Managing Enterprise Content - A Unified Content Strategy, New Riders Publishing, 2nd Revised Ed., 2012

[RCS15] Rockley, A.; Cooper, C.; Scott, A.: Intelligent Content – A Primer, XML Press 2015

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 1857

Automatisierte Personalisierung im Lokaljournalismus

Lorenz Matzat[1]

Abstract: Die Stärke des Lokaljournalismus lag immer auch in einer groben ortsbasierten Personalisierung. Im Digitalen nutzt er die vielfältigen Möglichkeiten dafür kaum. Das liegt wesentlich am Print-Paradigma, das sich in den Content Managment Systemen (CMS) manifestiert und Weiterentwicklung verhindert. Stattdessen braucht es Herangehensweisen, die kleinteilig Alltagsinformationen in ortsbezogende einzelne Datenpunkte zerlegt und abrufbar macht: Für automatische Personalisierung, aber auch automatisierte Datenrecherche.

Keywords: Digitaler Journalismus, Lokaljournalismus, Automatisierung, Roboterjournalismus, Datenjournalismus

1 Einleitung

So könnte zeitgemäßer Lokaljournalismus aussehen: Er bietet als digitalen Service, der morgens oder ad hoc punktgenau wesentliche Informationen für den Alltag bezüglich des Wohn- und Arbeitsorts des Nutzers liefert. Über: Die Verkehrssituation (S-Bahnausfall in der ganzen Stadt), Politik (Hotelneubau in deiner Nachbarstraße beschlossen), Kultur (Theaterstück X läuft kommende Woche zum ersten Mal), Infrastruktur (Sperrung des Schwimmbads wg. Renovierung), Angebote (Supermarkt an der Ecke: 10% auf alles), Bildung (wieder Kitaplätze frei), Nachbarschaft (wer hilft mit bei Renovierung des Grillplatzes), Sport (die B-Jugend hat 3:5 verloren), Alltag (morgen ist Sperrmüll) usw. usf. informiert. Dieses Angebot könnte auch „lernen“, was den Einzelnen User interessiert und ihn auf Hintergrundstücke sowie Reportagen mit weiterem lokalen Bezug hinweisen.

Es ist schwer verständlich, warum Lokalzeitungen immer noch nicht hyperlokale oder sublokale Angebote dieser Art anbieten: Ein personalisierter Bericht – egal ob per Mail, App, Website, Messenger, Spracherzeugung (z.B. Amazon Echo) übermittelt. Die Daten dafür sind vorhanden, mehr und mehr davon. Aus ihren Strömen lassen sich kurze und knappe Informationshappen straßen- und interessengenau automatisch generieren. Der technische Aufwand dafür, dies zu realisieren, ist mittlerweile verhältnismäßig gering, um klein damit anzufangen.

Personalisierung in Form von Lokalisierung ist die Stärke des Lokaljournalismus. Es liegt nah, dass Lokalzeitungen (wieder) Aufgaben des Gemeinwesens übernehmen. Insgesamt ist die Nische im sublokalen Level so groß, dass sie einer klaffenden Wunde gleicht. Die hauptsächlich konsumgetriebenen Angebote von Google, Yelp usw. decken dort nur einen kleinen Teil des Möglichen und des Bedarfs ab. Dieses Niemandsland –

[1] Lorenz Matzat, Lokaler UG, Gründer und Geschäftsführer, Berlin, matzat@lokaler.de

doi:10.18420/in2017_184

Kommunalverwaltungen liefern hier ebenfalls nicht – hat noch kein Anbieter im Digitalen wirklich besetzt. Doch das dürfte nur eine Frage der Zeit sein. Vielleicht gelingt es Nachbarschaftnetzwerken (warum betreiben Lokalzeitung solche eigentlich nicht?) wie nebenan.de[2] hier Fuß zu fassen oder eben einer der Internetgiganten.

2 Die CMS-Falle

Immer noch haben Lokalzeitungen mit ihrem lokalem Know-how und ihrer Vertrauensbasis einen – wenn auch schrumpfenden – Vorsprung. Weil ihr Print-Leserklientel mit ihrem Onlinepulikum wenig übereinstimmt, kannibalisieren sie sich mit neuen digitalen Produkte nicht. Doch ohne Investitionen wird es nicht gehen, will man das eigene Onlineangebot nicht nur als Beiprodukt der gedruckten Zeitung verstehen, die weiterhin erstmal der wichtigste Erlösfaktor ist. Dafür müssen die Verlage und Reaktionen aber aus der CMS-Falle heraus: Die Content Managment Systeme sind weiterhin im Wesentlichen durch Print geprägt und schleifen oft technischen Ballast vieler Jahre mit sich; ihre grundsätzliche Konstruktion verhindert die Weiterentwicklung der Nachrichtenwebsites und Dienste darüberhinaus. Ihre Funktionalität, sowohl die für die „Leser“ als auch für die Redaktion selbst, verliert immer mehr den Anschluss an den permanenten Kulturwandel bei der Internetnutzung. Deshalb muss man sich im Digitalen endgültig von der Printmetapher lösen, die letztlich immer noch jeden Inhalt in Artikelförmchen presst: Der Bericht über einen Autounfall wird im Prinzip gleich behandelt wie das Hintergrundstück zum Korruptionsskandal in der Kreisverwaltung.

Beim Abschneiden der alten IT-Zöpfe geht es nicht darum, die Idee des Structured Journalism zu verfolgen: Journalistische Inhalte werden in kleine themenbezogene Bestandteile aufgesplittet, die sich nach Bedarf remixen lassen, um daraus zügig und dynamisch auch komplexere Sachverhalte unterfüttern zu können oder neue Formate anzubieten. (Im Prinzip keine falsche Idee, nur schwer praktikabel).

Vielmehr muss es darum gehen, den „wahren“ Journalismus von dem Service und der reinen Berichterstattung (ohne Analyse und Einordnung) zu befreien. Die aus den Datenströmen gewonnenen Informationsteilchen sind nicht dafür gedacht, zu Beiträge zusammengesetzt zu werden. Nein, sie dienen als eigenständige Einheiten dazu, den einzelnen User spezifisch bedienen zu können: Die Sperrung einer bestimmten Straße wegen Bauarbeiten ist nur für wenige Prozente der „Leserschaft“ interessant, aber für diese eben sehr relevant.

[2] vgl. https://nebenan.de/ (aufgerufen am 30.6.2017)

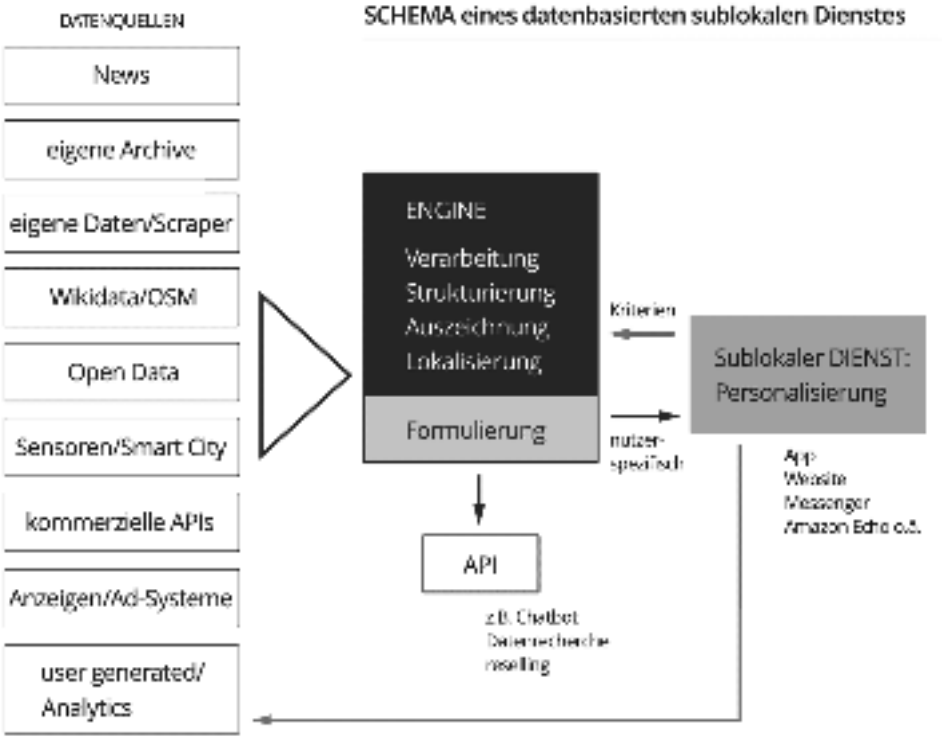


Abb. 1: Schema eines datenbasierten, sublokalen Dienstes

3 Frühwarnsystem per Daten

Zweitens lässt sich durch die Automatisierung des Einlesens der diversen Datenquellen (siehe Schaubild oben) und ihrer Auszeichnung mit Schlagworten, Metriken und Geokoordinaten Vorgänge in der Stadt und Region monitoren. Dank des ständigen Wachsens des eigenen Datenwissens – angereichert durch das Auslesen bestehender Archive – lassen sich immer solidere Auswertungen durchführen; Frühwarnsysteme können seltsame Muster erkennen. Die Verspätung im ÖPNV steigt an allen Stationen in einem Teil der Region sprunghaft an: Was ist da los? In besagter Straße ist zum dritten Mal innerhalb von 18 Monaten eine Baustelle. Was hat es damit auf sich? Die Daten des Ratsinformationssystems zeigen, dass ein Lokalpolitiker seit sechs Monaten nicht bei den Sitzungen erscheint. Wäre das kein Anlass für ein Interview?

Es entsteht ein System, das modular erweitert werden kann und so zukunftsfähig ist. Es lässt sich Schritt für Schritt durch weitere Datenquellen anreichern und per Schnittstelle (API) können neue Dienste angebunden werden – etwa ein Chatbot, der Fragen der Nutzer beantwortet. Denkbar ist auch, dass über den personalisierten Kanal „Leser“ auch zurücksenden können; sowohl in der situativen Berichterstattung als auch in der Recherche dürfte das äußerst hilfreich sein. Die Redaktion kann gezielt Anfragen an Nutzer in einer spezifischen Region des Verbreitungsgebietes stellen; Texte, Fotos, Audio, Videos und Messwerte treffen per Mobiltelefon in kürzester Zeit ein. Und warum übergibt man die Berichterstattung vom Jubiläum des Kaninchenzüchtervereins – das eigentlich nur dessen Vereinsmitglieder nebst Familien interessiert – nicht gleich an einen verlässlichen Nutzer aus diesem Kreis?

4 Schlußfolgerungen

Die Einführung solch eines Systems setzt selbstredend entsprechende Software voraus. Und entsprechendes Personal: Eine Datenredaktion, die Datenquellen auftreibt und einbindet; die die Daten-Engine füttert. Bleibt die Frage, ob Verlage und Redaktionen dazu bereit sind, sich einem solchen wesentlichen Strukturwandel zu unterziehen: Ein Teil der alltäglichen Arbeit und Routinen würde durch die Automatisierung wegfallen. Was macht man mit dem überflüssigen Personal, kann das überhaupt etwas anderes? Lässt es sich weiter finanzieren? Sicher ist, neue Formen von Diensten werden auch neue Verdienstmöglichkeiten erschließen. Reicht das, den Wegfall anderer Erlöse zu kompensieren? Schwer zu sagen, ohne es ausprobiert zu haben. Doch wenn es die Lokalzeitungen nicht tun, macht es früher oder später wer anderes.

LEDSPLaY17

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 1863

LEDSPLaY17

Workshop on Linked Enterprise Data Services, Provenance, Linking and QualitY

Natanael Arndt[1] André Langer[2] Michael Martin[1] Sebastian Tramp[3]

Following our *Linked Enterprise Data Services Track* at the SEMANTiCS 2016 in Leipzig, we are happy to welcome you to the *Workshop on Linked Enterprise Data Services, Provenance, Linking and QualitY* (LEDSPLaY) at INFORMATIK 2017 in Chemnitz. After years of research on fundamental questions as well as foundational Linked Data technologies, we noticed that the focus of work now shifts towards the utilization of these technologies in various enterprise scenarios. With our workshop call we have asked for submissions on topics which are relevant for these scenarios. We could compile a program which ranges from micro service management, provenance management, and knowledge extraction and integration to applications which support search and discovery on datasets. Each submission was reviewed by at least three program committee members and we have accepted 7 papers.

This workshop is part of the project *LEDS - Linked Enterprise Data Services*, which is funded as an *Innovative Regional Growth Core in the Area of Leipzig* by the *German Federal Ministry of Education and Research* (BMBF). Thus we want to thank our enterprise and technology partners eccenca GmbH, brox IT-Solutions GmbH, Ontos GmbH, Netresearch GmbH & Co. KG and Lecos GmbH as well as our research partners Universität Leipzig and Technische Universität Chemnitz. In addition to that, we want to thank all the people who helped us by organizing the workshop and by serving as reviewers: A. Adamou, J. M. Alvarez Rodríguez, C. Bratsas, V. Bryl, P. Buitelaar, P.-A. Champin, I.-G. Ciuciu, R. Cuel, C. d'Amato, A.-S. Dadzie, F. Daniel, B. Davis, J. Debattista, Ch. Dirschl, M. Dragoni, M. Elias, I. Feinerer, J. D. Fernández, J. M. García, J. M. Gomez, J. M. Gomez-Perez, M. Granitzer, B. Heitmann, K. Hose, V. Janev, S. Kirrane, M. Knuth, D. Kontokostas, J. E. Labra Gayo, J. Lässig, I. Lera, S. Lohmann, S. Lovrenčić, J. P. McCrae, R. Meissner, A. Micsik, D. Mouromtsev, M. Nentwig, A.-C. Ngonga Ngomo, L. Nixon, A. G. Nuzzolese, T. Pellegrini, N. Radtke, T. Riechert, A. Rula, F. Sasaki, B. Schandl, P. Shvaiko, C. Stadler, N. Steinmetz, H. Stenzhorn, S. Steyskal, M. C. Suárez-Figueroa, J. Umbrich, J. Unbehauen, M.-E. Vidal, J. Waitelonis, U. Waltinger, K. Wecel, W. Wöß, E. Zangerle, and A. Zaveri.

[1] AKSW, Leipzig University, Augustusplatz 10, 04109 Leipzig, Germany, arndt|martin@informatik.uni-leipzig.de
[2] Distributed and Self-organizing Systems Group, Technische Universität Chemnitz, Str. der Nationen 62, 09111 Chemnitz, Germany, andre.langer@informatik.tu-chemnitz.de
[3] eccenca GmbH, Hainstraße 8, 04109 Leipzig, Germany, sebastian.tramp@eccenca.com

doi:10.18420/in2017_185

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 1865

A mapping approach for configuration management tools to close the gap between two worlds and to regain trust

Or how to convert from docker to legacy tools (and vice versa)

Roy Meissner[1] and Marcus Kastner[2]

Abstract: In this paper we present the tool "DockerConverter", an approach and a software to map a Docker configuration to various matured systems and also to reverse engineer any available Docker image in order to increase the confidence (or trust) into it. We show why a mapping approach is more promising than constructing a Domain Specific Language and why we chose a Docker image instead of the Dockerfile as the source model. Our overall goal is to enable Semantic Web research projects and especially Linked Data enterprise services to be better integrated into enterprise applications and companies.

Keywords: Configuration Management; Orchestration; Trust; Docker; Ansible; Chef; Puppet; Reverse Engineering; DSL

1 Introduction

As [Ar15] showed, containerization is a perfect fit to support the research areas Semantic Web and Linked Data (and possibly other ones) in order to decouple some of their environment requirements and to integrate complex systems. It also helps other projects or even companies that want to reuse results of these projects for their own purposes. Docker[3] is a containerization technology that exists for about 3 years now and is lately often used as a standard technology among research communities, recent projects and startups. Nevertheless and according to [Ri16, page 11 et seqq.], well established enterprises tend to use matured software, approaches and systems and thus have not widely utilized Docker yet, instead using similar, but more matured systems like Chef, Puppet or Ansible. Additionally, these companies are not known for their fast pace in exchanging widely used technologies. This chops a large gap between research projects dealing with state of the art approaches and on the other side matured companies. It's even larger in case these projects want to (or are forced to) integrate their solutions into established enterprises or public administration. In order to fill this gap, we have developed and now introduce "DockerConverter"[4], an

[1] Institute for Applied Informatics (InfAI) e.V. Hainstraße 11, 04109 Leipzig, Germany meissner@informatik.uni-leipzig.de
[2] Leipzig University, Augustusplatz 10, 04109 Leipzig, Germany mk97caza@studserv.uni-leipzig.de
[3] See [Ar15] for an introduction into Docker and its use in the Linked Data Cloud
[4] Github Repository of DockerConverter: `https://github.com/guitarmarx/DockerConverter`

doi:10.18420/in2017_186

approach and a software to map a Docker configuration to various matured systems and also to reverse engineer any available Docker image in order to increase the confidence into it. As the processing of semantic data is getting more and more complex, we are in need of integration solutions for complex software systems, that also need to integrate into matured hosting solutions. DockerConverter is an approach to achieve this goal.

We will introduce into related projects and work first in section 2 and dissociate our own work from these. In Section 3 we describe the implemented conversion approach, point out different alternatives, as well as their advantages and disadvantages. We describe in section 4 how we have implemented and validated the approach and then show how our software increases confidence into Docker images in section 5. This paper ends with a conclusion in section 6, as well as pointing out our future vision.

2 Related Work

"Image Layers"[5] is an open-source tool by CenturyLink Labs that reveals a Docker images layers by analysing it. This is similar to a part of our own approach, but will not uncover any files, is a WebApp and only works for the legacy API of DockerHub[6] (and only with DockerHub). Even worse, Image Layers does not provide any APIs in order to add further steps or automatically reuse its results and its documentation is sparse. According to their Github project[7], development has completely stopped in September 2016.

Similar to Image Layers is MicroBadger[8], that is, in contrast, able to work with the current DockerHub API. Apart of this, MicroBadger suffers from the same problems that we described for Image Layers and is not an open-source project.

"Image2Docker" (Windows only), announced in [Ma16][9], is a recent tool by Trevor Sullivan and enables to convert a virtual machine image (currently only WIM, VHD and VHDX formats and Windows Server 2003, -08, -12 and -16) to a Dockerfile, in order to produce an identical Docker image. This is, as compared to us, the opposite approach (kind of the "vice versa") but is very limited and lacks some major features, like support of established configuration management tools (CM-tools).

Sebastian Günther et. al. describe in [GHS10] an approach for streamlining host setups, software deployments and maintenance approaches into one Domain Specific Language (DSL). They have executed a market analysis and constructed a DSL that is similar to currently available tools, like Ansible. In contrast to our approach, they focused on a DSL as the only solution and Docker was not available at this time. Using a DSL has some major drawbacks that we describe in section 3.

[5] Image Layers Website: https://imagelayers.io/
[6] A public hosting service for Docker images, see `https://hub.docker.com/`
[7] Image Layers at Github: `https://github.com/microscaling/imagelayers`
[8] MicroBadger Website: `https://microbadger.com/`
[9] Image2Docker presentation at this years DockerCon: `https://www.youtube.com/watch?v=YVfiK72Il5A&t=559s`

3 Model Transformation or DSL?

There are mainly two possible approaches to convert from Docker to matured CM-tools. One possibility is constructing a DSL or metalanguage, including a generator, parser and interpreter to convert into the different CM-tool languages. According to [Me12] a DSL has to include all semantic elements of the sub languages and their specifications to generate fully operational configurations. Arie Van Deursen et al. showed in [DKV00] that because of the internal design, a DSL allows validation and optimization at the domain level which improves testability and the conversion.

The alternative approach is a model transformation, that can be accomplished by creating a semantic mapping between the CM-tool languages. This approach allows the conversion from one source model to multiple target models. Every CM-tool language would have its own mapping with its language specific elements like vocabulary and semantics.

Even though a DSL can be very powerful, it has, according to [DKV00, page 2 et seqq.], a large potential loss of efficiency in comparison with model transformation, due to the costs of designing, implementing and maintaining it. As stated in [MHS05], the extension of a DSL is hard to accomplish because of the internal design. A DSL is optimized to all input models which form the semantic of the DSL in the end. Adding another target model might even end in a complete revision process of the semantic and the internal compiler. Apart of this, introducing an artificial language, that acts as a superset of most of the existing languages is not advisable as potential operators would need to learn another language with a steep training curve and complex syntax because of the included sub languages. In contrast, we know about some projects that successfully developed and implemented a DSL and got the market to widely adopt it, for instance the LLVM compiler infrastructure.

In the end, we decided to use a model transformation approach for the conversion because it allows to reuse and convert already existing configurations and will not introduce the mentioned steep learning curve. This is similar to what Trevor Sullivan did in his Image2Docker approach [Ma16], mentioned in section 2 and is expected to increase the market adoption of the tool. Nevertheless, the major risk of a model transformation is the insufficient compatibility of the different models and the loss of information during the conversion process. We explain in section 4 how we handled this risk.

4 Implementation & Validation

We identified two possible alternatives that may act as a proper source model for the transformation process: the Dockerfile and its syntax or Docker images themselves. The transformation between a Dockerfile and a receipt (a collection of commands in a CM-tool) is easier to accomplish because of the similar structure and the same abstraction level. But a Dockerfile contains only a part of the resulting configuration, as a final image is often composed of several Dockerfiles. To reassemble the full configuration, one would have

to trace the composed Dockerfiles all the way up to their root and collect them all. This is sometimes impossible, as information in the chain are missing or it is time consuming, because one needs to find also all possibly added files first[10].

As a Docker image already contains all required information for the transformation, we used Docker images themselves as the source model. Unfortunately an image differs from CM-tool configurations in various and significant ways. For instance docker splits an image into different layers that contain information about executed commands and metadata, as well as files and their history. Apart of layering an image Docker optimizes commands, variables and files for some internal reasons. In order to resolve these we had to execute the following steps:

1. Split the layers of an image apart, to enable further processing
2. Match the various layers with the sequence of executed commands
3. Transform embedded Docker commands (e.g. ADD, CMD, ...) to valid bash commands
4. Extract variables and files within layers by using the information from the previous steps

Thus we transformed an image to a lower abstraction level. The different abstraction layers are depicted in figure 1.

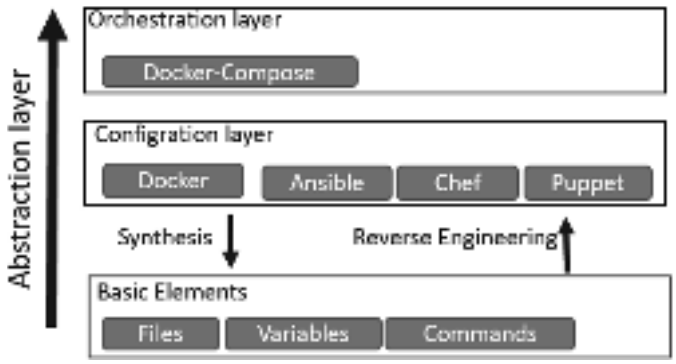


Fig. 1: Abstraction layers of DockerConverter

Speaking more abstract, a synthesis is executed first, which, according to [CH06], denotes a transformation from a higher to a lower abstraction layer. The subsequent transformation back to the configuration layer is called reverse engineering. We have used a Docker image instead of the Dockerfile and the mentioned steps to analyse it, in order to obtain a complete source model. By transforming these information to a lower abstraction layer

[10] This has also been identified by the projects Image Layers and Microbadger, mentioned in section 2

(bash commands), we were able to accomplish a transformation to other CM-tool languages without loss of information, as all CM-tool languages support bash commands.

The transformation process may be controlled via a graphical user interface (GUI), which is depicted in figure 2, or a command line interface (CLI). It is possible to look into different image components, like files and commands, before the transformation process is triggered and also to edit available variables. Additionally, the GUI enables to trigger a fast analyse mode that reconstructs the Dockerfile only. Thus, files (e.g. a HTTPD conf file) which might have been added to the image as of the Docker build process are not reconstructed. The fast mode analyses images much faster, as shown in figure 3 and might be useful if it is only important to reconstruct the Dockerfile itself, e.g. to understand an images structure.

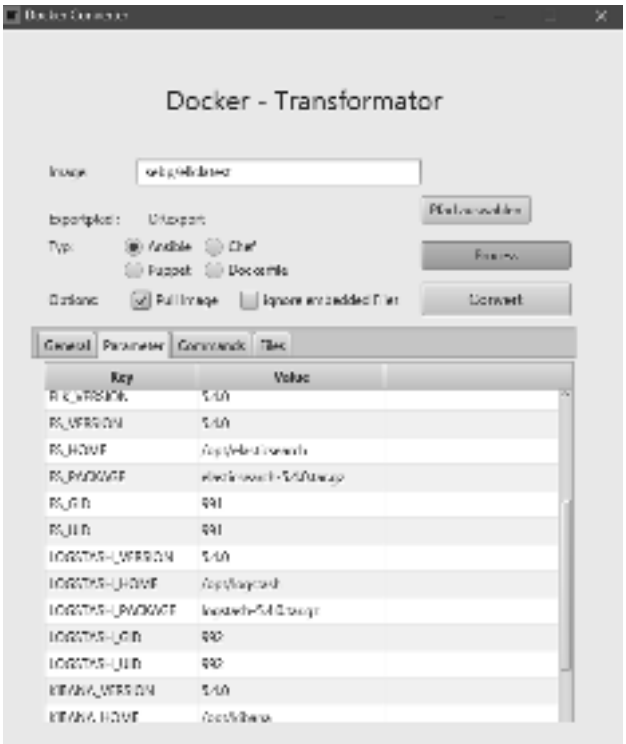


Fig. 2: Graphical User Interface of DockerConverter with an example analysis

We have tested the execution speed on a workstation (Core i5 3. Gen., SSD, 16GB DDR3) and measured both, available analysis modes (fast and full mode). The graph in figure 3 shows the transformation time in relation to the image size for the top ten images from DockerHub[11]. The figure shows that the execution time for a full transformation (full

[11] Top ten images from DockerHub: `https://www.ctl.io/developers/blog/post/docker-hub-top-10/`

analysis mode) depends heavily on the image size, as this mode contains the needed steps for reconstructing additionally used files, as described in the previous paragraph.

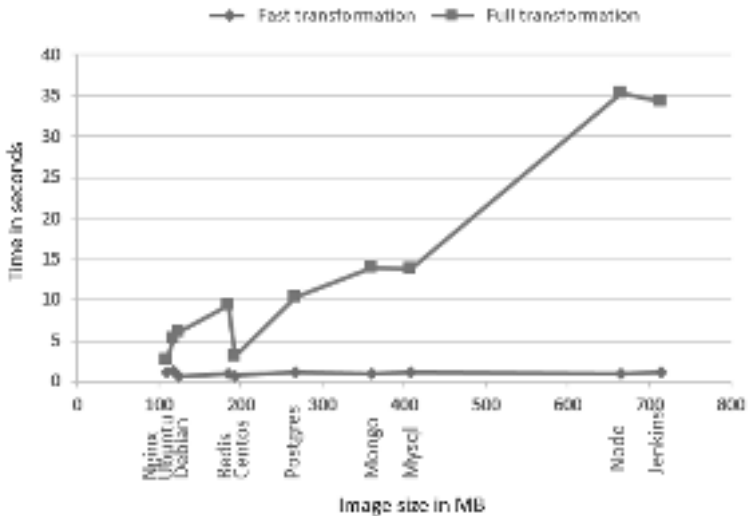


Fig. 3: Transformation time graph

We are currently using manual tests to validate the tool. It has been validated by testing it against ten images of the German company GIP, five images of the EU research project SlideWiki, as well as for 5 images of the German research project LEDS (see section 6 for more information about these). We have additionally tested it against the ten most popular images from DockerHub. In summary, we achieved for all images a transformation to all implemented CM-tools and were able to reproduce virtual machines that are equivalent to the used docker images.

5 Regain Trust

As explained in section 4, anyone with access to an Docker image is able to reverse engineer it with Docker itself. But because of how Docker structures and stores images (see section 4 for an in detail explanation) it ends up to be a time consuming and sometimes complex task to fully reverse engineer a Docker image. Especially as, for example potential malware is often hidden in default files, it is important to reconstruct them in general, as well as in the right way.

With DockerConverter we have implemented all needed steps as a program and thus automated them, so anyone is now able to reverse engineer a Docker image within seconds, essentially reproducing the Dockerfile and all needed additional files, that were used to build the image. It is even possible to convert this information to one of the more matured CM-tools in order to analyse it, in case that the person using DockerConverter is more

familiar with these systems than with Docker itself. So in case other trust or validation methods failed (either because they threw an error or were not used at all), it is now easily possible to validate an image manually or to search for bugs or possible intruders. This is also useful to simply reverse engineer an image, similar to disassembling a compiled program, in order to read and understand it. We have depicted the workflow for in figure 4.

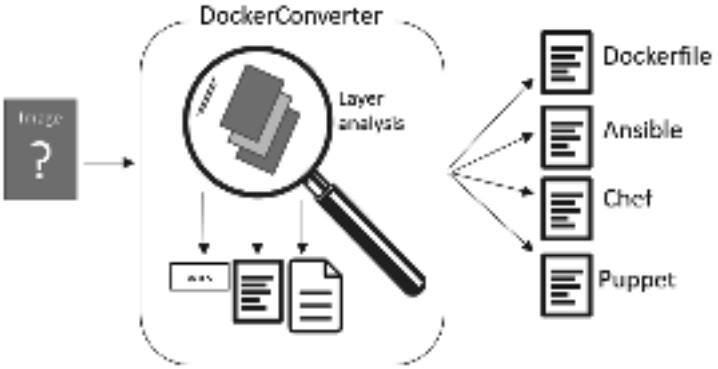


Fig. 4: Image and layer analysis and conversion

6 Conclusion & Perspective

We have implemented an extensible open-source tool for a one way conversion of Docker images (and thus also Dockerfiles) to the three most popular (according to [Ri16]) configuration management tools (CM-tools), that supports a commandline interface, a fast and a full analysis mode as well as a reverse engineering method to reconstruct the complete Dockerfile from an Docker image. DockerConverter thus enables Semantic Web research projects and especially Linked Data enterprise services to be better integrated into enterprise applications, that are more likely to build upon matured CM-tools like Ansible, Chef or Puppet. Therefore we anticipate more possible applications of Semantic Web and Linked Data research results in larger contexts and thus hope to enable better integration of these software systems at all. Additionally, DockerConverter enables to reverse engineer any image in order to gain trust into it, to find out why an already used trust method failed or to simply understand it. This will hopefully also strengthen the confidence in semantic web projects. The tool has been validated via in-use testing by the German company GIP, the EU Horizon 2020 research project SlideWiki and the German Federal Ministry for Research and Educations research project Linked Enterprise Data Services (LEDS) (see section 6 for more information about these), as well as by testing it against the ten most popular Docker images at DockerHub. We have additionally outlined possible other ways of implementing or constructing this tool and why we chose a mapping approach over the DSL approach.

As the tool is open-source and thus extensible by anyone, it is easily possible to add more mappings in order to support more CM-tools. We have noticed that the mapping of the most

basic commands between those CM-tools is bijective, therefore the mapping is revertible, but currently not implemented as we have focused on the described use case. According the former paragraph, we have only tested the tool manually. Thus, it is a future goal to create an automated test suite for continuous integration to cover unit and integration tests, as well as testing the integration between different CM-tool configurations. Thinking even more into the future, it seems to be possible to map whole orchestration configurations from Docker-Compose and Docker Swarm to the matured systems and vice versa.

Acknowledgements

This work was partly supported by the German company "Gesellschaft für innovative Personalwirtschaftssysteme mbH" (GIP), located in Leipzig, as well as the following grants from European Union's Horizon 2020 research and innovation programme for the SlideWiki Project under grant agreement No 688095 and the German Federal Ministry of Education and Research (BMBF) for the LEDS Project under grant agreement No 03WKCG11C.

References

[Ar15] Arndt, Natanael; Ackermann, Markus; Brümmer, Martin; Riechert, Thomas: Knowledge Base Shipping to the Linked Open Data Cloud. In: 11th International Conference on Semantic Systems Proceedings. International Conference on Semantic Systems Proceedings, Vienna, Austria, pp. 73–80, September 2015.

[CH06] Czarnecki, Krzysztof; Helsen, Simon: Feature-based survey of model transformation approaches. IBM Systems Journal, 45(3):621–646, 2006.

[DKV00] Deursen, Arie Van; Klint, Paul; Visser, Joost: Domain-Specific Languages: An Annotated Bibliography. Sigplan Notices, 35(6):26–36, 2000.

[GHS10] Günther, Sebastian; Haupt, Maximilian; Splieth, Matthias: Utilizing Internal Domain-Specific Languages for Deployment and Maintenance of IT Infrastructures. March 2010. Technical Report, URL: http://www2.cs.uni-magdeburg.de/inf_media/downloads/forschung/technical_reports_und_preprints/2010/TechReport04-EGOTEC-2f2p4di8gee9ocvgnihl5nauh31gad9b.pdf.

[Ma16] Marks, Mano: , Image2Docker: A new tool for prototyping Windows VM conversions, September 2016. https://blog.docker.com/2016/09/image2docker-prototyping-windows-vm-conversions/, last access: 05 May 2017.

[Me12] Mernik, Marjan, ed. Formal and Practical Aspects of Domain-Specific Languages: Recent Developments. IGI Global, September 2012. DOI: 10.4018/978-1-4666-2092-6.

[MHS05] Mernik, Marjan; Heering, Jan; Sloane, Anthony M.: When and how to develop domain-specific languages. ACM Computing Surveys, 37(4):316–344, dec 2005.

[Ri16] RightScale, Inc.: , State of the Cloud Report: DevOps Trends, January 2016.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 1873

A Method for Distributed and Collaborative Curation of RDF Datasets Utilizing the Quit Stack

Natanael Arndt[1] and Norman Radtke[2]

Abstract: Knowledge engineering is becoming more and more important and collaborative approaches are promising. Especially in science, collaborative knowledge engineering on research data is a key factor for success. We propose a three layered method for distributed collaboration in curation of RDF datasets with the aim to bring domain experts into the role to command the process. The method builds on the existing infrastructure and work-flows of software engineering. By adding an RDF layer on top of the Git infrastructure, the method is flexible in its adaption to various domains using domain specific editing interfaces.

Keywords: distributed collaboration; collaborative curation; quit; git; SPARQL Update; rdf dataset; domain specific; semantic web; distributed version control system; knowledge engineering

1 Introduction

Experts from various domains are working with knowledge engineering tools for organizing their domain knowledge. Collaboration, especially in science, is a key factor for successfully gaining value from the data. A need for distributed models to collaborate on common knowledge bases is recognizable in various domains. Examples are projects from the e-humanities, the *Pfarrerbuch*[3], the *Professorial Career Patterns of the Early Modern History* project[4] [Ri10], and the *Heloise – European Network on Digital Academic History*[5] [RB16]. In libraries meta-data of more and more electronic resources is gathered and shared among stakeholders. The *AMSL*[6] project is looking for collaborative curation and management of electronic resources as Linked Data [Ar14, Na14]. Also in Life Science a need for sharing data between researchers is recognizable, especially on the way to Big New Biology [TP11]. Even businesses have a need for managing data in distributed setups. In the *LUCID – Linked Value Chain Data*[7] project [Fr16] the communication of data along supply chains is subject

[1] AKSW, University of Leipzig, Augustusplatz 10, 04109 Leipzig, Germany arndt@informatik.uni-leipzig.de
[2] AKSW, University of Leipzig, Augustusplatz 10, 04109 Leipzig, Germany radtke@informatik.uni-leipzig.de
[3] http://aksw.org/Projects/Pfarrerbuch
[4] http://catalogus-professorum.org/projects/pcp-on-web/
[5] http://heloisenetwork.eu/
[6] http://amsl.technology/
[7] http://www.lucid-project.org/

doi:10.18420/in2017_187

of research, and in the *LEDS – Linked Enterprise Data Services*[8] project there is a need for distributed collaboration on datasets to organize business procedures.

Thessen et al. state that the three major challenges in Life Science, as they are transforming into more data-centric disciplines, are: 1) lack of comprehensive standards; 2) lack of incentives for individual scientists to share data; 3) lack of appropriate infrastructure and support [TP11]. As of our experience in e-humanities, libraries, and business the same challenges apply to these and other domains as well. The first challenge can be approached by Semantic Web and Linked Data technology [TP11], which are already adopted in various domains and appropriate domain vocabularies exist[9]. The second challenge leads to the general debate on Open Data in science which is ongoing [TP11]. The third challenge is a problem where we can and want to contribute to by providing an approach for a method to collaboratively curate datasets in a distributed setup. We are facing two problems, when multiple experts want to collaborate on creating and curating semantic data. The synchronization of the data on the technical level has to be ensured on the one hand. On the other hand, user interfaces adopted to the domain and appropriate for the regarding audience are needed. In the following we refer to the regarding audience as *domain experts*. *Domain experts* are experts in their field, which usually does not include Semantic Web. Thus in this paper we are focusing on filling the gap between the technical synchronization between the data and an interface usable by *domain experts*. We propose a three layered architecture which connects flexible RDF based user interfaces through a SPARQL interface with a Git repository and the whole Git infrastructure for distributed collaboration.

The paper is structured as follows. The state of the art is presented and discussed in Sect. 2. Our proposed setup and approach with the three layers: the domain specific layer, the store layer, and the repository layer is presented in Sect. 3. An exemplary application of the system stack is demonstrated in Sect. 4. Finally the proposed stack is discussed together with a prospect to future work in Sect. 5.

2 State of the Art

The Linked Open Data paradigm consists of four rules for making data accessible on the Web[10]. Different technologies were proposed for collaborating on Linked Data, such as *Structured Feedback* [Ar16] and the *Linked Data Platform* (LDP) respectively based on LDP the notification protocol *Linked Data Notifications* (LDN)[11] [Ca17]. The main aspect here is the resource centric collaboration approach. A Linked Data resource is under the management of a central authoritative instance, while contributors and comments can be distributed over the Internet and Web. For changing the central resource, contributors need to gain write access to it. Forking and merging resources in the Linked Data paradigm

[8] http://www.leds-projekt.de/
[9] Linked Open Vocabularies (LOV): https://lov.okfn.org/
[10] Linked Data: http://www.w3.org/DesignIssues/LinkedData.html
[11] https://www.w3.org/TR/ldn/

would include moving data to a different namespace, which would involve breaking the context of the data, especially incoming links.

Curation systems, user interfaces and editors can give different kinds of contributors the possibility to editing RDF data. Semantic Data Wiki systems, such as OntoWiki[12] [Fr15, FAM16, KVV06] and RDF editors such as WebProtégé [Tu13] allow mainly people familiar with the RDF data model to collaborate. Such Wiki systems provide a platform to manage and edit datasets in a centralized place. Customizable form generation tools, for example RDForms[13], can be used to adapt the user interface directly to the needs of a domain expert, while it directly handles RDF data. With the current W3C Candidate Recommendation *Shapes Constraint Language*[14] (SHACL) a standard is developed, which can be used to create very customized user interfaces for viewing, editing and validating RDF data.

Customized RDF editing tools using RDForms and SHACL or editors like Protégé allow ontology and domain experts to locally curate data in a common RDF data model. Once a common RDF data model is established, still the RDF graphs have to be synchronized between parties to enable a collaboration process. In the field of software engineering source code editors are used for producing the individual artifacts of a program, while distributed source code management systems (DSCM) are used to synchronize the source code development process between participants. Widely used DSCMs are Git[15] and Mercurial[16]. For RDF data multiple approaches exist for allowing versioning and synchronization of datasets. The TailR [MKS15], R43ples [GHU16] and R&Wbase [Sa13] approaches provide versioning systems for tracking and exchanging the data's history, while they only provide limited or no support for branching and merging [AM17].

3 Our Setup and Approach

We have identified three layers of abstraction which can be used to create a flexible collaboration setup. The layers, as depicted in Fig. 1, are: (1) Domain Specific Layer, (2) Store Layer, and (3) Repository Layer. The top layer (1) represents the interface to domain experts with domain specific tools, which are already able to produce RDF data. This layer especially allows the system to be adapted to any domain and could also allow the collaboration between heterogeneous editors. On the lowest layer (3) the technical infrastructure for synchronizing and transporting the data on the network of participants is organized. At this level the system relies on already established and successfully used technology from the software engineering domain. The store layer (2) between the domain specific UI layer and the technical infrastructure layer provides the glue. It transforms change

[12] http://ontowiki.net/
[13] http://rdforms.org/
[14] https://www.w3.org/TR/shacl/
[15] http://git-scm.com/
[16] http://mercurial-scm.org/

operations on the RDF data to the corresponding synchronization operations on the DSCM system.

The individual layers of our setup provide interfaces to the outside and are connected with each other using respective interfaces and protocols for achieving the necessary levels of abstraction. The domain expert level provides *user interfaces* allowing to adjust the software to the respective audience. The store layer provides a *standard SPARQL Query and Update interface* allowing software, which is following this standard, to read and write the stored RDF graphs. The store layer in turn writes the RDF graphs to the Git repository using the *Git API*. The network layer is then able to synchronize the stored repository using the *Git transfer protocol*[17].

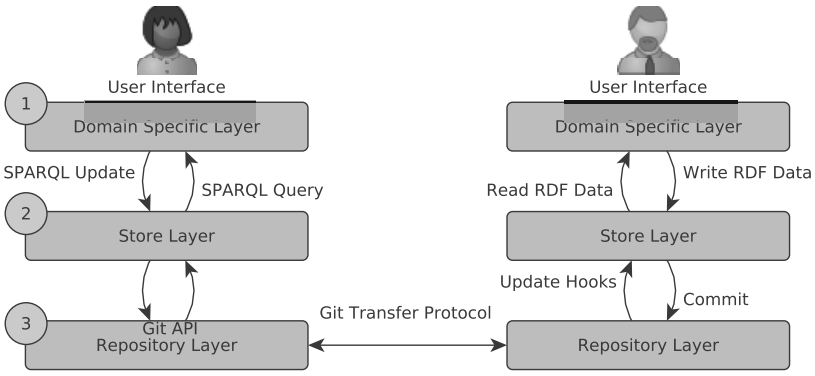


Fig. 1: The functions and flow of information

Domain Specific Layer Data models in RDF can be very complex for expressing the relations of a domain, also domain experts want to express their knowledge in complete and very complex models. But a domain expert might not be familiar with the technical structure and vocabulary of RDF. The topmost layer is the layer of domain specific user interfaces. This layer is used by domain experts providing an interface adapted to the needs of the domain and expressed in the language of the domain. Components in this layer are connected to the store layer, from where it can read and to where it can write RDF graph data. The relevant interface to be addressed by these components is SPARQL. Providing a SPARQL interface to this layer allows that already existing components, which are capable of communicating with a SPARQL endpoint, can be integrated into the system. This enables reuse of non-collaborative software in a distributed collaboration setup. Furthermore the process of selecting a proper user interface for an editor is independent from the underlaying distributed communication stack.

[17] `https://git-scm.com/book/en/v2/Git-Internals-Transfer-Protocols`

The Store Layer This layer connects to the domain specific layer on the top and to the repository layer on the bottom. This intermediary role is implemented by providing a SPARQL endpoint and the usage of the Git API. SPARQL Update operations are transformed to filesystem operations and the according Git operations. On changes in the underlaying repository layer, the RDF graphs in the store are updated accordingly. Concurrent edit operations on a dataset, which are detected on the repository layer (merge conflicts) are resolved by according merge strategies for RDF datasets on the store layer (cf. [ARM16, AM17]). Translating SPARQL operations to Git operations allows to make the Git API and transfer protocol transparent for systems connecting to the SPARQL interface.

Repository Layer Distributed collaborative curation of RDF graphs supposes that data must be available from and at different locations on the Web. Git provides the possibility to store repositories in different places on the Web, which can individually and independently evolve and be synchronized at any time using the Git transfer protocol. In each repository again the Git system allows to store multiple versioning-branches in parallel, which allows to postpone the consolidation and conflict resolution. The branching system of Git also allows operations like *Fork*[18] and *Pull Request*[19]. To organize the workflow of branching and merging for the development of an RDF vocabulary, Halilay et al. have developed the Git4Voc method [Ha16].

4 Application

For showcasing the presented method and the interplay between the individual layers, we have developed a prototype. The prototype provides an editing interface to create RDF resources, which are submitted to the SPARQL endpoint of a Quit Store [ARM16]. The Quit Store commits the changed triples to a Git repository and triggers a synchronization with a Git push operation. As depicted in Fig. 2, this stack can be setup on multiple clients simultaneously. In addition to the collaboration setup a server is subscribed for changes (web hook) on an on-line repository. As soon as new commits are submitted to the repository, a webpage presenting the content of the collaboratively created RDF graph is rendered and updated using Jekyll[20] and Jekyll-RDF[21].

The aim of the domain specific layer is to address domain experts which might not be familiar with RDF. Thus we abstract the underlaying data model by employing the form rendering library RDForms[22]. The forms are generated based on templates, which also ensure the adherence of the generated data to the applications data model. Furthermore the template

[18] Copy an entire repository into an own namespace for an independent development but keep a reference to the origin

[19] A request to merge a given branch into another branch, this can even happen across repositories

[20] Jekyll static website generation system: `https://jekyllrb.com/`

[21] RDF plugin for Jekyll: `https://rubygems.org/gems/jekyll-rdf`

[22] `http://rdforms.com/`

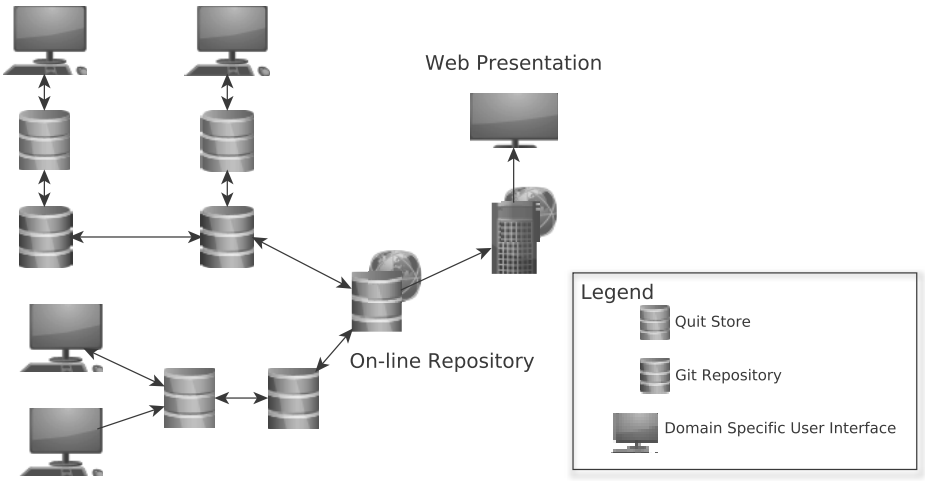


Fig. 2: A collaboration setup using the Quit Stack

based static website generation process with Jekyll-RDF creates a browsing interface on the data taking out the complexity of the RDF data model for visitors. The store layer is implemented using the Quit Store as a file based in-memory-quad-store. The Quit Store provides a SPARQL Update Endpoint, which receives the changes made using the generated forms and performs the respective transactions on the Git repository. This demonstration setup is similar to the principle of GitHub pages[23], but adapted to the collaboration and publication of RDF data. Multiple commiters can contribute to a commonly synchronized Git repository, while the consensus expressed in a specific branch is rendered to a public webpage. We have published the source code of the editing interface[24], the store layer implementation of the Quit Store[25] and the Jekyll-RDF plugin[26] as Open Source.

5 Discussion and Conclusion

With the presented three layer architecture and the associated method of distributed collaborative data creation and curation we are able to make the complexity of an RDF data model and the necessary SPARQL and Git interfaces transparent to domain experts. Also using the underlaying Git repository system it is possible to formulate feedback to the RDF datasets as pull-requests. In turn this allows multi-staged review and curation process as

[23] https://pages.github.com/
[24] https://github.com/white-gecko/vgaf
[25] https://github.com/AKSW/QuitStore
[26] https://github.com/white-gecko/jekyll-rdf

known from the *successful Git branching model* (aka. gitflow)[27] and as adapted to RDF vocabularies by Halilay et al. [Ha16]. Thinking further this as well enables workflows known from *Content Management Systems* (CMS) and would allow data based CMS workflows in Data Management System (*DMS*). Tracking all changes on the data in a non linear system as Git, in the end also tracks the provenance of the data throughout the collaborative curation process [ANM17].

With the abstraction towards the domain specific layer it is possible to use multiple editors which might provide varying advantages for the author of the data, while the editor does not need any synchronization and collaboration support. This setup can also be understood as a foundation for an Integrated Development Environment (IDE) for data. Due to the distributed character *Continuous Integration* processes can be attached to the network, as know from software engineering, for testing and verifying the data against SHACL shapes or RDFUnit test cases [MJ16]. In the future we also want to investigate the interplay between the validation and consistency check step based on SHACL shapes and the generation of edit interfaces, which can as well be based on SHACL shapes[28].

With this method we are providing the foundation to build further data management systems around a Git infrastructure for RDF datasets, as it already exists for software engineering. This allows us as computer scientists to concentrate on the architecture of the software, since the data curation process should be pursued by data scientists and domain experts rather then computer scientists and semantic web experts.

Acknowledgement

This work was partly supported by a grant from the German Federal Ministry of Education and Research (BMBF) for the LEDS Project under grant agreement No 03WKCG11C.

References

[AM17] Arndt, Natanael; Martin, Michael: Decentralized Evolution and Consolidation of RDF Graphs. In: 17th International Conference on Web Engineering (ICWE 2017). ICWE 2017, Rome, Italy, June 2017.

[ANM17] Arndt, Natanael; Naumann, Patrick; Marx, Edgard: Exploring the Evolution and Provenance of Git Versioned RDF Data. In (Fernández, Javier D.; Debattista, Jeremy; Umbrich, Jürgen, eds): 3rd Workshop on Managing the Evolution and Preservation of the Data Web (MEPDaW) co-located with 14th European Semantic Web Conference (ESWC 2017). Portoroz, Slovenia, May 2017.

[Ar14] Arndt, Natanael; Nuck, Sebastian; Nareike, Andreas; Radtke, Norman; Seige, Leander; Riechert, Thomas: AMSL: Creating a Linked Data Infrastructure for Managing Electronic

[27] http://nvie.com/posts/a-successful-git-branching-model/

[28] https://www.w3.org/TR/shacl-ucr/

Resources in Libraries. In (Horridge, Matthew; Rospocher, Marco; van Ossenbruggen, Jacco, eds): Proceedings of the ISWC 2014 Posters & Demonstrations Track. volume Vol-1272 of CEUR Workshop Proceedings, Riva del Garda, Italy, pp. 309–312, October 2014.

[Ar16] Arndt, Natanael; Junghanns, Kurt; Meissner, Roy; Frischmuth, Philipp; Radtke, Norman; Frommhold, Marvin; Martin, Michael: Structured Feedback: A Distributed Protocol for Feedback and Patches on the Web of Data. In: Proceedings of the Workshop on Linked Data on the Web co-located with the 25th International World Wide Web Conference (WWW 2016). volume 1593 of CEUR Workshop Proceedings, Montreal, Canada, April 2016.

[ARM16] Arndt, Natanael; Radtke, Norman; Martin, Michael: Distributed Collaboration on RDF Datasets Using Git: Towards the Quit Store. In: 12th International Conference on Semantic Systems Proceedings (SEMANTiCS 2016). SEMANTiCS '16, Leipzig, Germany, September 2016.

[Ca17] Capadisli, Sarven; Guy, Amy; Lange, Christoph; Auer, Sören; Sambra, Andrei; Berners-Lee, Tim: Linked Data Notifications: a resource-centric communication protocol. In: 14th European Semantic Web Conference (ESWC 2017). Portoroz, Slovenia, 2017.

[FAM16] Frischmuth, Philipp; Arndt, Natanael; Martin, Michael: OntoWiki 1.0: 10 Years of Development - What's New in OntoWiki. In: SEMANTiCS2016 Poster and Demo Track. CEUR Workshop Proceedings, Leipzig, Germany, September 2016.

[Fr15] Frischmuth, Philipp; Martin, Michael; Tramp, Sebastian; Riechert, Thomas; Auer, Sören: OntoWiki—An Authoring, Publication and Visualization Interface for the Data Web. Semantic Web Journal, 6(3):215–240, 2015.

[Fr16] Frommhold, Marvin; Arndt, Natanael; Tramp, Sebastian; Petersen, Niklas: Publish and Subscribe for RDF in Enterprise Value Networks. In: Proceedings of the Workshop on Linked Data on the Web co-located with the 25th International World Wide Web Conference (WWW 2016). 2016.

[GHU16] Graube, Markus; Hensel, Stephan; Urbas, Leon: Open Semantic Revision Control with R43Ples: Extending SPARQL to Access Revisions of Named Graphs. SEMANTiCS 2016, ACM, New York, NY, USA, pp. 49–56, 2016.

[Ha16] Halilaj, Lavdim; Grangel-González, Irlán; Coskun, Gökhan; Auer, Sören: Git4Voc: Git-based Versioning for Collaborative Vocabulary Development. In: 10th International Conference on Semantic Computing. Laguna Hills, California, February 2016.

[KVV06] Krötzsch, Markus; Vrandečić, Denny; Völkel, Max: Semantic MediaWiki. In: 5th International Semantic Web Conference, ISWC 2006. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, pp. 935–942, November 2006.

[MJ16] Meissner, Roy; Junghanns, Kurt: Using DevOps Principles to Continuously Monitor RDF Data Quality. In: 12th International Conference on Semantic Systems Proceedings (SEMANTiCS 2016). CEUR Workshop Proceedings, Leipzig, Germany, September 2016.

[MKS15] Meinhardt, Paul; Knuth, Magnus; Sack, Harald: TailR: A Platform for Preserving History on the Web of Data. In: Proceedings of the 11th International Conference on Semantic Systems. SEMANTICS '15, ACM, New York, NY, USA, pp. 57–64, 2015.

[Na14] Nareike, Andreas; Arndt, Natanael; Radtke, Norman; Nuck, Sebastian; Seige, Leander; Riechert, Thomas: AMSL: Managing Electronic Resources for Libraries Based on Semantic Web. In: Proceedings of the INFORMATIK 2014. volume P-232, pp. 1017–1026, September 2014.

[RB16] Riechert, Thomas; Beretta, Francesco: Collaborative Research on Academic History using Linked Open Data: A Proposal for the Heloise Common Research Model. CIAN-Revista de Historia de las Universidades, 19(0), 2016.

[Ri10] Riechert, Thomas; Morgenstern, Ulf; Auer, Sören; Tramp, Sebastian; Martin, Michael: Knowledge Engineering for Historians on the Example of the Catalogus Professorum Lipsiensis. In: Proceedings of the 9th International Semantic Web Conference. volume 6497 of Lecture Notes in Computer Science, Springer, Shanghai, China, pp. 225–240, 2010.

[Sa13] Sande, Miel Vander; Colpaert, Pieter; Verborgh, Ruben; Coppens, Sam; Mannens, Erik; de Walle, Rik Van: R&Wbase: git for triples. In (Bizer, Christian; Heath, Tom; Berners-Lee, Tim; Hausenblas, Michael; Auer, Sören, eds): LDOW. volume 996 of CEUR Workshop Proceedings. CEUR-WS.org, 2013.

[TP11] Thessen, Anne E.; Patterson, David J.: Data issues in the life sciences. ZooKeys, 150(150):15–51, 2011.

[Tu13] Tudorache, Tania; Nyulas, Csongor; Noy, Natalya F; Musen, Mark A: WebProtégé: A collaborative ontology editor and knowledge acquisition tool for the web. Semantic web, 4(1):89–99, 2013.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 1883

Smarte Datenintegration durch Benchmarking-as-a-Service – Vorschlag eines Vorgehensmodells zur Entwicklung eines unternehmensübergreifenden Informationssystems mittels Data Envelopment Analysis

Andreas Varwig[1], Friedemann Kammler[2] und Oliver Thomas[3]

Abstract: Obwohl Maschinen- und Anlagenbauer immer komplexere Sensortechnologien und Informationssysteme verbauen, haben sie nur selten Zugriff auf detaillierte Laufzeitdaten. Anlagenbetreiber, die oftmals die Eigentümer der Daten sind, verweigern ihnen den Zugriff, während sie selbst nicht über die Mittel verfügen, die Daten auszuwerten. In der Folge entstehen bei jedem Betreiber unerschlossene Data Lakes. In diesem Artikel wird ein Vorgehensmodell zur Erschließung und betreiberübergreifenden Integration der ökonomisch verwertbaren Informationen, basierend auf der Data Envelopment Analysis, vorgestellt.

Keywords: Smart Data Linking; Data Envelopment Analysis; Industrie 4.0; Information Systems

1 Einführung

Die zunehmende Digitalisierung führt zu fundamentalen Veränderungen in der industriellen Wertschöpfung. Dabei steht der Maschinen- und Anlagenbau vor besonderen Herausforderungen. Obwohl Anlagenbauer immer umfangreichere Sensortechnologien und IT-Systeme zur Protokollierung von Maschinenbetriebsdaten verbauen, haben sie nur eingeschränkten Zugriff auf die Informationen. Theoretisch könnten Sie diese neuen detaillierten Laufzeitinformationen u.a. dazu verwenden, die Maschinenkonstruktion zu optimieren und neue Dienstleistungen anzubieten. Die Daten gehören jedoch zumeist dem Betreiber einer Anlage, welcher den Zugang verweigert. In der Folge entsteht eine Vielzahl brachliegender Data Lakes (DL) bei den Anlagenbetreibern.

Wir zeigen, wie Maschinenhersteller durch den Einsatz von quantitativen Datenanalysemethoden ihr Dienstleistungsspektrum erweitern, ökonomisch wertvolle Informationen aus dezentralen DL identifizieren und Anlagenbetreibern gleichzeitig einen Anreiz zum Teilen ihrer Maschinendaten liefern können. Hierfür skizzieren wir ein Vorgehensmodell, welches Methoden der Data Envelopment Analysis (DEA) nutzt, um Empfehlungen für

[1] Universität Osnabrück, Fachgebiet Informationsmanagement und Wirtschaftsinformatik, Katharinenstraße 3, 49074 Osnabrück, andreas.varwig@uos.de
[2] Universität Osnabrück, Fachgebiet Informationsmanagement und Wirtschaftsinformatik, Katharinenstraße 3, 49074 Osnabrück, friedemann.kammler@uos.de
[3] Universität Osnabrück, Fachgebiet Informationsmanagement und Wirtschaftsinformatik, Katharinenstraße 3, 49074 Osnabrück, oliver.thomas@uos.de

doi:10.18420/in2017_188

die optimale Konfiguration von Maschinen und Anlagen abzuleiten. Der Artikel ist folgendermaßen aufgebaut: Zunächst wird der konkrete Handlungsbedarf am Beispiel eines Herstellers von industriellen Druckanlagen beschrieben. Im dritten Abschnitt werden das methodische Vorgehen der DEA und ein kurzer Literaturüberblick dargestellt. Der vierte Abschnitt skizziert das Vorgehensmodell zur Entwicklung eines betreiberübergreifenden Informationssystems. Die resultierenden Implikationen und Limitationen werden im fünften Abschnitt diskutiert. Der Artikel schließt mit einer Zusammenfassung und einem Ausblick auf nachfolgende Forschungsarbeiten.

2 Ungenutzte Data Lakes im Maschinen- und Anlagenbau

Im Maschinen- und Anlagenbau herrscht Informationsasymmetrie. Der eingeschränkte Zugriff auf Betriebsdaten verkaufter Maschinen behindert die Hersteller darin, ihre Produkte und Dienstleistungen zu verbessern und neue Geschäftsmodelle zu erschließen. Die Problematik lässt sich am Beispiel eines Herstellers für industrielle Druckanlagen verdeutlichen. Die Anlagen dieses Unternehmens bestehen aus tausenden Einzelteilen und Modulen. Zur Überwachung und Analyse des Maschinenzustands werden seit Jahren immer umfangreichere Sensoren verbaut. Diese Sensoren ermöglichen es u.a. Temperaturen, Vibrationen, akustische Auffälligkeiten und Luftzusammensetzungen an unterschiedlichen Positionen der Anlage zu erfassen. Gleichzeitig werden auch die IT-Komponenten und Steuerungshilfen der Anlage immer komplexer und detaillierter. Sie erfassen während Laufzeit u.a. Informationen über die verarbeiteten Materialien, aufgetretene Fehlermeldungen, Materialdurchlaufgeschwindigkeiten, und -spannungen und Anschlagwinkel von Federungen und Walzen in einzelnen Modulen der Druckwerke. Das Ziel des Anlagenbauers ist es, die Informationen zu nutzen, um das Maschinendesign zu verbessern, Wartungs- und Ersatzteilbedarfe frühzeitig zu erkennen oder komplett neue datenbasierte Dienstleistungen anzubieten.

Die erzeugten Betriebsdaten sind jedoch das Eigentum der Anlagenbetreiber. In den meisten Fällen sind diese Unternehmen nicht in der Lage, die entstandenen Informationen nutzenbringend weiterzuverarbeiten. Teils fehlen die notwendigen IT-Infrastrukturen oder es ist kein Methodenwissen zur statistischen Datenverarbeitung im Unternehmen verfügbar. Auch das schlichte Fehlen von Use Cases wurde in Kundenbefragungen als Ursache ausgemacht. Dennoch verweigern die Betreiber dem Anlagenhersteller den Datenzugriff und archivieren die Betriebsinformationen in lokalen Speichersysteme.[4]

[4] Aufgrund ihrer Beschaffenheit im Hinblick auf ihr Volumen, die Vielseitigkeit, die teils sehr hohe Frequenz und den (unerschlossenen) Wert der Daten, lässt sich die vorliegende Situation als Big Data Herausforderung beschreiben, siehe hierzu u.a. [OFT14].

3 Funktionsweise und Anwendung der Data Envelopment Analysis

Die Data Envelopment Analysis wurde 1978 von [CCR78] eingeführt und seitdem stetig weiterentwickelt. Heute beschreibet der Begriff ein breites Portfolio an quantitativen Methoden zum Benchmarking in komplexen Leistungserstellungsprozessen. Die Kernidee der DEA ist es, einen objektiven, methodischen Effizienzvergleich in einer heterogenen Gruppe von Leistungserstellern, sog. DMU (von engl. Decision Making Units), durchzuführen. Dabei können alle leistungsrelevanten Informationen (i.S.v. Inputs und Outputs), die numerisch abbildbar sind, berücksichtigt werden. Während der Analyse werden diese Werte für jede zu vergleichende DMU zu einer einzigen Leistungskennzahl, dem sog. Effizienzparameter, verdichtet.

3.1 Methodisches Vorgehen

Das Lineare Optimierungsproblem (LP) des Basismodells von [CCR78] ist in den Gleichungen (1) - (4) dargestellt. Es ist für jede DMU der zu vergleichenden Gruppe zu lösen.

$$\min_{\lambda} \theta_i, \quad \text{s.t.} \tag{1}$$

$$\boldsymbol{X\lambda_i} \leq \theta_i \boldsymbol{x_i} \tag{2}$$

$$\boldsymbol{Y\lambda_i} \geq \boldsymbol{y_i} \tag{3}$$

$$\boldsymbol{\lambda_i} \geq 0, \theta_i \geq 0 \tag{4}$$

Bei der Leistungsbewertung wird ermittelt, welchen Ressourcenaufwand (X) eine DMU mindestens einsetzen müsste, um ihren aktuellen Output (Y) zu erzielen. Dies geschieht durch die Bildung von Linearkombinationen aller zu vergleichenden DMUs. Die Relation aus optimalem Ressourceneinsatz zu aktuellem Ressourceneinsatz wird als Effizienzparameter θi bezeichnet. Entspricht θi beispielsweise 0.80, so könnte die betrachtete DMU i den aktuellen Output bereits mit 80% der aktuell eingesetzten Ressourcen erzielen.

Gleichung (1) ist die Zielfunktion des LP. Sie lässt sich mit der Aufforderung: „Finde das minimale Inputniveau, welches zur Erstellung des aktuellen Outputs notwendig ist!“ übersetzen. Die Gleichungen (2) - (4) definieren die Nebenbedingungen, welche dabei zu beachten sind: (2): Das optimale Inputniveau muss kleiner oder gleich dem aktuellen Ressourceneinsatz sein, (3): Unter Verwendung des optimalen Ressourceneinsatzes wird mindestens derselbe Output erzeugt wie vor der etwaigen Verhaltensanpassung, (4): Nur positive Linearkombinationen anderer existierender Input-Output-Profile sind zur Identifikation der individuell-optimalen Lösung zulässig.[5]

[5] Für eine Einführung in die Grundlagen verschiedener DEA-Methoden siehe bspw. [CST07] und [CZS04].

Der λ_i-Vektor ist das zweite zentrale Ergebnis einer DEA. Er zeigt auf, zu welchem Anteil eine DMU für die Konstruktion eines jeweiligen individuellen Referenzprofils verwendet wurde. Alle DMUs, welche anteilig zumindest bei der Konstruktion eines Referenzprofils für eine andere DMU verwendet wurden, stellen eine Best-Practice dar. Sie sind Blaupausen, anhand derer sich ineffiziente DMUs zur Leistungsverbesserung orientieren können.

3.2 Stand der Forschung und DEA-Applikationen

Seit ihrer Einführung wurde die DEA für die Untersuchung unterschiedlichster Fragestellungen eingesetzt. [MSS03] verwenden sie, um die Leistung deutscher Arbeitsämter zu bewerten. Eine Auswertung der Effizienz von Gerichtsverhandlungen ist bei [Sc04] zu finden. Auch in der Privatwirtschaft ist eine Vielzahl an Anwendungen entstanden. Insbesondere für die Analysen von Finanzdienstleistern und -dienstleistungen erfreut sich die DEA großer Popularität.[6] Aktuelle Untersuchungen bieten u.a. [VVP13] oder [VVL17]. [SPS05] setzen Methoden der DEA zur Priorisierung und Modifikation von Projekten zur Implementierung von Informationssystemen im Bankwesen ein. [Th96] untersuchen die Optimierungsmöglichkeiten in der Erdölförderung. Daneben ist die Analyse der Erzeugung und Bereitstellung von Elektrizität ein wiederkehrender Forschungsgegenstand in der DEA-Literatur, siehe u.a. [ALS99]. Neuere Methodenentwicklungen und Applikationen beschäftigen sich speziell mit der Erschließung und Verarbeitung von Big Data.[7] So untersuchen u.a. [So16] die Eignung der DEA in der Verarbeitung von Big Data zur Einschätzung regionaler Umweltbelastung.

4 Benchmarking-as-a-Service zur Datenintegration

Wir haben ein Vorgehensmodell, bestehend aus 6 Schritten und basierend auf der DEA, entwickelt, mit dem es möglich ist, eine betreiberübergreifende Informationsplattform zu entwickeln. Durch den Einsatz der DEA sind Betreiber in der Lage, ein umfassendes Benchmarking ihrer Produktion vorzunehmen. So können sie Maschinenkonfigurationen identifizieren, welche Ineffizienzen verursachen. Damit werden Informationen ermittelt, aus denen auch andere Anlagenbetreiber lernen könnten. Durch die Integration dieser Daten kann eine Datenbasis geschaffen werden, aus der alle Betreiber Konfigurationsempfehlungen für einzelne Maschinen erhalten können. Die Datenintegration durch DEA-basiertes Benchmarking-as-a-Service (BaaS) kann somit ein neues Geschäftsmodell für den Anlagenbauer darstellen, welches den Zugriff auf bislang unerreichbare Maschinenlaufzeitinformationen ermöglicht. Die 6 Schritte des Vorgehensmodells sind in Abb. 1 dargestellt.

[6] Allein zur Bankeneffizienz wurden bislang weit mehr als 200 Studien durchgeführt und publiziert.
[7] In einer Analyse von mehr als 2000 Publikationen zu Methodenerweiterungen und Anwendungen der DEA, die in den Jahren 2010-2014 entstanden sind, zeigen [LLL16] die aktuellen Herausforderungen der DEA-Forschung auf.

4.1 Vorgehensmodell

Im ersten Schritt des Vorgehensmodells sind Maschinendaten zur identifizieren und zu extrahieren, anhand derer sich die erbrachte Leistung einer Maschine aus Sicht eines Betreibers bewerten lässt. Als Inputs kommen alle Werte in Frage, die während der Leistungserstellung möglichst geringgehalten werden sollen. Hier bieten sich bspw. die Produktionsdauer, die verwendeten Produktionsmaterialien oder die Anzahl an Fehlermeldungen während eines Produktionslaufes an. Outputs sind solche Indikatoren, die während der Produktion zu steigern sind. Beispiele hierfür sind die produzierte Menge und die durchschnittliche Qualität. Im nächsten Schritt (2) werden die Leistungen der einzelnen Maschinendurchläufe unter der Berücksichtigung der individuellen Selektion relevanter Inputs und Outputs durch eine DEA analysiert. Die Analyse kann sowohl direkt auf der IT-Architektur der Maschine, bspw. unter Verwendung eines R-Skriptes, als auch auf lokalen Systemen des Betreibers durchgeführt werden. Hierbei werden die Durchläufe in effiziente und ineffiziente Durchläufe eingeteilt. Alle vorhandenen Informationen zu den effizienten Durchläufen werden nun (Schritt 3) an den Maschinenhersteller übertragen. Dies beinhaltet auch Informationen, die nicht bei der Leistungsbewertung betrachtet wurden. Der Maschinenhersteller erhält so auch die Maschinenlogs, Konfigurationsinformationen und hochfrequente Sensordaten.

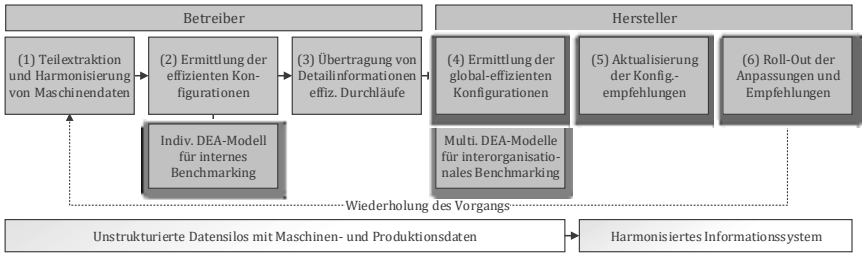


Abb. 1: Vorgehensmodell zur Datenintegration durch Benchmarking-as-a-Service

Im vierten Schritt analysiert und vergleicht der Anlagenbauer die Produktionsprozesse aller Betreiber. Hierbei kann es notwendig sein, die jeweils individuellen Leistungsprozesse der einzelnen Hersteller für den Gesamtbestand der Daten zu modellieren. Dementsprechend wird in Schritt 4 nicht zwingend nur ein Leistungsvergleich durchgeführt. Die effizienten Leistungen der jeweiligen Betreiber werden nun gemäß dem individuellen Leistungsverständnis miteinander verglichen. So kann identifiziert werden, ob ein Maschinendurchlauf auch im betreiberübergreifenden Vergleich nach dem eigenen Leistungsverständnis noch als effizient eingestuft wird, oder ob sich Verbesserungspotentiale ableiten lassen. Während dieser Analyse können auch historische Leistungsinformationen aus den bisherigen Konfigurationsempfehlungen des Herstellers berücksichtigt werden. Im fünften Schritt aktualisiert der Maschinenhersteller seine Konfigurationsempfehlungen. Dabei wird über die Zeit ein Informationssystem aufgebaut, welches die individuellen Leistungsbegriffe, unterschiedliche Lastprofile und effiziente Konfigurationen historisiert. Im letz-

ten Schritt erhalten die Betreiber eine Rückmeldung über die betreiberübergreifende Effizienz ihrer Produktion und ggf. Empfehlungen darüber, wie die Leistung durch Anpassungen der Maschinenkonfiguration gesteigert werden kann. Auch werden die aktualisierten Konfigurationsempfehlungen für die unterschiedlichen Leistungsprozesse und Lastprofile an die Betreiber ausgeliefert.

4.2 Numerisches Beispiel

Die ersten drei Schritte des Vorgehensmodells können anhand eines numerischen Beispiels verdeutlicht werden. Hierzu werden zufällig Daten zu 12 Durchläufen einer Maschine erzeugt. Die Inputs sind gegeben durch die Produktionsdauer (D), die Materialkosten (K) und die Häufigkeit von kritischen Fehlermeldungen (F). Als Outputs werden die Produktionsmenge (M) und die durchschnittliche Produktionsqualität (Q) modelliert. Die Analyse der Beispieldaten erfolgt unter Verwendung der freien Skriptsprache R.

```
#DEA-Skript
library(Benchmarking);
Data <- read.csv2(paste0(getwd(), "/data.csv"));
E <- dea(Data[,1:3],Data[,4:5],RTS="vrs", SLACK = "TRUE")
out <- data.frame(Data,E$lambda,E$eff,E$slack,E$sx,E$sy)
```

In Abweichung zum Basismodell wird der Effizienzwert eines jeweiligen Druckdurchlaufs im Beispiel unter der Annahme variabler Skalenerträge berechnet. Dies ermöglicht es Laufzeiteffekte, wie bspw. das Wegfallen von Warmlaufzeiten, zu berücksichtigen. Die Ausgangsdaten und die Ergebnisse sind nachfolgend in Tabelle 1 dargestellt.

Lf.	D	K	F	M	Q	θ	λ_1	λ_3	λ_5	λ_6	λ_7
1	**20**	**36**	**11**	**52**	**28**	**1**	**1**	**0**	**0**	**0**	**0**
2	48	78	8	10	4	.53	.15	0	0	.85	0
3	**46**	**75**	**5**	**37**	**40**	**1**	**0**	**1**	**0**	**0**	**0**
4	24	42	6	4	20	.96	.07	0	.45	.49	0
5	**22**	**39**	**8**	**45**	**32**	**1**	**0**	**0**	**1**	**0**	**0**
6	**24**	**42**	**3**	**12**	**8**	**1**	**0**	**0**	**0**	**1**	**0**
7	**88**	**138**	**8**	**60**	**16**	**1**	**0**	**0**	**0**	**0**	**1**
8	24	42	11	10	16	.88	.84	0	0	.16	0
9	66	105	8	4	40	.71	0	1	0	0	0
10	44	72	6	12	24	.75	0	.39	.15	.46	0
11	70	111	11	3	16	.39	0	.07	.24	.69	0
12	42	69	8	1	24	.68	0	.19	.41	.40	0

Tab. 1: Numerisches Beispiel einer DEA-Anwendung in Schritt 2 des Vorgehensmodells

Die Analyse identifiziert 5 der 12 Maschinendurchläufe als effizient (grau hinterlegt). Diese sind die Durchläufe 1,3,5,6 und 7. Ihr berechneter θ-Wert entspricht 1. Dies deutet darauf hin, dass der erzeugte Output nicht mit weniger als den eingesetzten Ressourcen zu

erzielen gewesen wäre. In den λ-Spalten von Tabelle 1 ist der Anteil angegeben, zu welchem ein effizienter Durchlauf für die Bestimmung der Referenzprofile der ineffizienten Durchläufe verwendet wird. Entsprechend Schritt 4 des skizzierten Vorgehensmodells werden nun alle Datensätze, die während dieser Durchläufe entstanden sind, auf an das zentrale Informationssystem übertragen.

5 Implikationen und Limitationen

Die Methoden der DEA sind sehr flexibel. Sie können zumeist unabhängig von den Maßeinheiten der verfügbaren Leistungsinformationen verwendet werden. Gleichzeitig können somit etwa monetäre Größen (bspw. Rohstoffausgaben) und metrische Informationen (bspw. die verfügbare Verkaufsfläche) oder simultan kardinal- und ordinalskalierte Informationen (qualitative Leistungsindikatoren) berücksichtigt werden, siehe u.a. [CZ06] oder [Sa07]. Damit ist die DEA geeignet, um die ökonomisch verwertbaren Informationen aus den bislang nicht erschlossenen, lokalen Data Lakes der Anlagenbetreiber zu gewinnen.

Obwohl das Vorgehen generalisierbar und auf weitere Branchen übertragbar ist, ist die Modellierung des Leistungsprozesses eine individuell zu lösende Herausforderung. Es ist nicht davon auszugehen, dass die zu untersuchenden Leistungsinformationen in anderen Szenarien bereits vollständig und strukturiert vorliegen. Selbst im beschriebenen Beispiel des Druckanlagenherstellers wurde das Vorgehensmodell bislang nicht in der Praxis getestet. Es bleibt abzuwarten, ob die Aussicht auf eine verbesserte Maschinenkonfiguration, verringerte Stand- und Ausfallzeiten und eine verbesserte Fertigungsqualität die Betreiber von der Bereitstellung ihrer Laufzeitinformationen überzeugen kann.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Obwohl detaillierte Leistungs- und Betriebsinformationen zu ihren Anlagen eigentlich verfügbar sind, haben viele Maschinenbauer keinen Zugang zu diesen Daten. Betriebsdaten sind in der Regel das Eigentum des Anlagenbetreibers. Am Beispiel der Situation eines Herstellers von industriellen Druckanlagen wurde ein Vorgehensmodell vorgestellt, welches es ermöglicht, historische Produktionsdaten in für den weiteren Erkenntnisgewinn relevante und irrelevante Datensätze einzuteilen. Durch die Freigabe der so identifizierten relevanten Informationen kann der Hersteller Empfehlungen zur Optimierung der Maschinenkonfiguration und produktionszielabhängige Standardkonfigurationen bereitstellen.

In nachfolgenden Forschungsarbeiten gilt es, das Vorgehensmodell in der Praxis umzusetzen und zu evaluieren. Hierfür sind u.a. konkrete und generalisierbare Produktionsprozesse, im Sinne von zu betrachtenden Inputs und Outputs, zu definieren. Auch sind die Anforderungen an die technische Umsetzung des Informationssystems zu erheben. Nicht zuletzt ist für die Bewertung des Gesamtnutzens des Konzepts eine erwartbare Kosten- und Ertragskalkulation zu erstellen.

Literaturverzeichnis

[ALS99] Athanassopoulos, A., Lambroukos, N., & Seiford, L. (1999). Data envelopment scenario analysis for setting targets to electricity generating plants. European Journal of Operational Research, 115, 413–428.

[CCR78] Charnes, A., Cooper, W. W., & Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. European Journal of Operational Research, 2(6), 429–444.

[CZ06] Cook, W. D., & Zhu, J. (2006). Rank order data in DEA: A general framework. European Journal of Operational Research, 174(2), 1021–1038.

[CST07] Cooper, W., Seiford, L., & Tone, K. (2007). Data Envelopment Analysis - A Comprehensive Text with Models, Applications, References and DEA-Solver Software (2nd edn.). Springer.

[CZS04] Cooper, W., Zhu, J., & Seiford, L. M. (2004). Handbook on Data Envelopment Analysis (2nd ed.). Kluwer Academic Publishers.

[LLL16] Liu, J. S., Lu, L. Y. Y., & Lu, W.-M. (2016). Research fronts in data envelopment analysis. Omega, 58, 33–45.

[MSS03] Mosley, H., Schütz, H., & Schmid, G. (2003). Effizienz der Arbeitsämter: Leistungsvergleich und Reformpraxis. Berlin: Ed. Sigma.

[OFT14] Özcan, D., Fellmann, M., & Thomas, O. (2014). Towards a Big Data-based Technical Customer Service Management. 44. Jahrestagung Der Gesellschaft Für Informatik – INFORMATIK 2014, 187–198.

[Sa07] Saen, R. F. (2007). Suppliers selection in the presence of both cardinal and ordinal data. European Journal of Operational Research, 183(2), 741–747.

[Sc04] Schneider, M. (2004). Performance-Controlling professioneller Dienstleistungen: Gerichte im Effizienzvergleich. München: Hampp.

[So16] Song, M.-L., Fisher, R., Wang, J.-L., & Cui, L.-B. (2016). Environmental performance evaluation with big data: theories and methods. Annals of Operations Research.

[SPS05] Sowlati, T., Paradi, J. C., & Suld, C. (2005). Information systems project prioritization using data envelopment analysis. Mathematical and Computer Modelling, 41(11–12), 1279–1298.

[Th96] Thompson, R., Dharmapala, P., Diaz, J., Gonzales-Lima, M., & Thrall, R. (1996). DEA multiplier analytic center sensitivity with an ilustrative application to independent oil companies. Annals of Operations Research, 66, 163–177.

[VVL17] Varmaz, A., Varwig, A., & Laudi, P. (2017). Zentrale Ressourcenverteilung in der Gesamtbanksteuerung: Eine DEA-Anwendung. Zeitschrift Für Bankrecht Und Bankwirtschaft, 29(1).

[VVP13] Varmaz, A., Varwig, A., & Poddig, T. (2013). Centralized resource planning and Yardstick competition. Omega, 41(1), 112–118.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 1891

SPARQL Update queries over R2RML mapped data sources

Jörg Unbehauen[1], Michael Martin[1]

Abstract: In the Linked Data Life Cycle mapping and extracting data from structured sources is an essential step in building a knowledge graph. In existing data life cycles this process is unidirectional, i.e. the data is extracted from the source but changes like cleaning and linking are not fed back into the originating system. SPARQL-to-SQL rewriters create virtual RDF without materializing data by exposing SPARQL endpoints. With the Update extension of our SparqlMap system we provide read/write access to structured data sources to enable a tighter integration of the source systems in knowledge refinement process. in this paper, we discuss three different update methods and further describe in two scenarios how the source system can benefit from feed back from the Linked Data integration.

Keywords: R2RML; SPARQL Update; OBDA; RDB-to-RDF

1 Introduction

The Linked Data Lifecycle is an approach for managing information with the aim of representing knowledge in a structured, machine readable way. The extraction of RDF from structured data sources constitutes an important step in creating such an Linked Data Lifecycle. However, current approaches like ontop [RMHC12], morph [PCS14] or our own SparqlMap [UM16] only provide means for exposing structured data as (virtual) RDF in order to integrate it into a linked data life cycle. As of now, feeding data back into the originating system requires custom transformations and adapters is therefore held back by high upfront costs. SPARQL 1.1 Update [SGP08] offers Linked Data tools a standardized method for updating data. We therefore extended SparqlMap with a SPARQL Update capable endpoint which leverages integration of legacy systems into the Linked Data Lifecycle. This bidirectional integration ultimately allows legacy system to participate from the benefits of Linked Data knowledge management processes. We use mappings expressed in the RDB-to-RDF Mapping Language (R2RML)[DSC12] for the SPARQL Update to SQL Data Manipulation Language (DML) statements.

The rest of our paper is structured as follows. First, we introduce two scenarios to motivate our research. In Sect. 3 we discuss other approaches on enabling SPARQL Update over mapped data sources. Sect. 4 introduces our approach and our proposed solutions to the previously determined requirements. Subsequently, we evaluate our approach in Sect. 5 by

[1] University of Leipzig, AKSW/IIS, Germany [unbehauen|martin]@informatik.uni-leipzig.de

doi:10.18420/in2017_189

simulating SPARQL insert operations. Finally, we draw a conclusion. For the sake of brevity, we abbreviate vocabulary URIs by prefixing them: for URIs of the R2RML namespace we utilize `rr: <http://www.w3.org/ns/r2rml#>`. Further we assume that in our examples, besides the FOAF namespace `foaf: <http://xmlns.com/foaf/0.1/>`, our custom `ex: <http://example.com/>` namespace is also set as base URI.

2 Scenarios

Updates over mapped structured data sources allow interactive modification of the data sources. A straightforward use case is an interactive data manipulation tool like OntoWiki[ADR06] which can persist data modifications using SPARQL update queries. In order to foster a deeper understanding we consider two additional scenarios and determine their requirements on bidirectional RDB-to-RDF mappings.

Scenario 1: Enterprise Search The enterprise search scenario is based on [Fr13] in which Linked Data technologies are used for feeding a full text index. This enterprise search use case is depicted in Fig. 1. Multiple heterogeneous data *source*s are extracted and

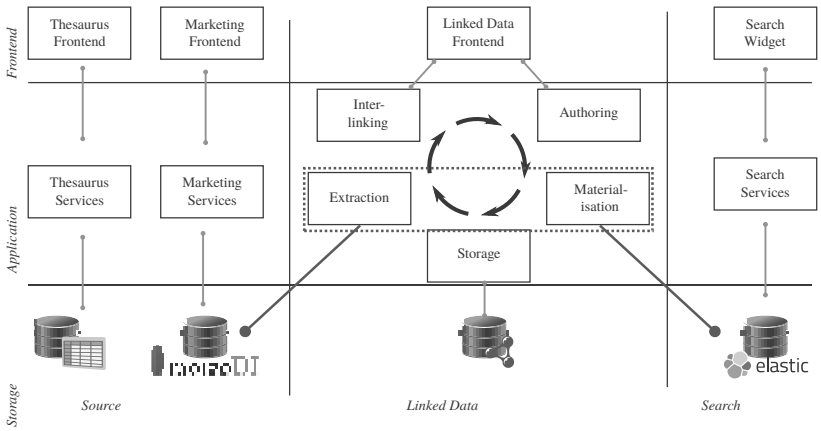


Fig. 1: Enterprise use case of data aggregation and extraction from multiple data sources and feeding an full text search engine.

loaded into a triple store. The extracts are cleaned, interlinked and streamlined using an interactive authoring component, effectively constituting a Linked Data Lifecycle. The resulting knowledge graph is finally materialized into the target *Search* system using a custom program. By using a bidirectional mapping of the search index, we no longer require a custom program for loading the data. Further, as the mapping allows also for read access, the index data is visible from within Linked Data management tools.



Fig. 2: ETL pipeline, starting with an transient data export and feeding into an Linked Data based enrichment pipeline with the proposed update extension as red arrow.

We can derive the following requirements from this scenario: (**R1**): Non-relational data backends; (**R2**): (Bulk) insertion of large data volumes.

Scenario 2: Extract Transform Load Pipeline In the Extract-Transform-Load (ETL) scenario we discuss how SPARQL update operations can be used to augment a pipelined data operation. Such a pipeline, which is based on the data extraction scenario presented in [BR16], is depicted in Fig. 2.

The date pipeline ingests exports from a desktop Data Base Management System (DBMS) and translates the data via a R2RML mapping into a RDF materialization. This materialization is then modified by an authoring component and further processed. Instead of modifying the materialized RDF extract we suggest that the authoring component issues SPARQL Update queries instead. The challenge in this scenarios is dealing with a data source that either is read-only or is transient in the sense that it is frequently re-created and changes are consequently discarded. An additional challenge poses the schema employed in the desktop DBMS, which is not properly normalized. We can therefore infer the following requirements of this scenario: (**R1**): Non-relational data backends (**R3**): Immutable or transient data sources (**R4**): Denormalized schemata

3 Related Work

Translating the SPARQL to SQL is a well studied technique for accessing relational databases. State-of-the-art SPARQL-to-SQL mappers like ontop [RMHC12], morph [PCS14] do not feature Update capabilities, but SPARQL Update over mapped relational databases was the subject of previous work, with two approaches extending D2R[BC06].

R2RML [DSC12] is a W3C standard for relational to RDF mappings and is supported by most of these rewriters. It utilizes `rr:TermMap` and `rr:TriplesMap`s for a row-wise mapping of relational tables into RDF.

In [GG11] the authors systematically explore the translation of SPARQL into SQL queries, covering both read and write scenarios. It is based on [CLF09], a SPARQL-to-SQL translation approach originally developed triple stores implemented on top of relational database management systems. The paper covers basic mechanisms, but does not give details on how to deal with database constraints or translate more complex, template

based `rr:TermMaps` efficiently. This paper is purely conceptual and does not feature an evaluation.

OntoAccess [HRG10] proposes its own mapping language, R3M, to express bidirectional mappings of relational databases. The approach discusses the insert and delete operations in greater detail and considers schema imposed constraints.

With D2RQ++ [Ra10] the authors propose to integrate a native triple store into their system. This triple store allows insertion of triples that are either not mapped or would violate database schema constraints. Information stored in the triple store can later be conveyed into the relational database, once the constraints are no longer violated.

D2RQ/update [EK12] is a relational schema aware SPARQL Update processor and introduces a series of optimizations in order to prevent schema constraint violations. Further, the authors aim at minimizing the number of SQL statements by grouping related triples together.

4 Approach

In this section we first introduce some basic terminology used in our mapping approach and a small exemplary mapping. Further, we introduce three different methods of updating a mapped triple store.

Our motivation behind creating those methods is our goal to cover as many usage scenarios as possible. Naively, the translation of a SPARQL query for a given update may seem straight forward due to the syntactic similarities between SPARQL and SQL. However, SPARQL updates can easily modify the data that represents its schema. In native triples stores, this does not pose a problem, as those schema triples are stored by the same means as any other triples. In the case of mapped data however, schema information appearing in a virtual graph can originate from the mapping and is tightly coupled to the schema of the data source. The schema of the data source however cannot be modified, as other application in a data landscape will rely upon it.

The data source update (Sect. 4.4) therefore deals with update operations that modify the underlying database. Mapping updates (Sect. 4.5) perform certain large scale data updates and schema modifications. The preprocessor update (Sect. 4.6) allows executing of updates regardless of schema or constraint violations, at the cost of performance.

4.1 Terminology

In this section we briefly revisit the terminology introduced in [USA12]. While this terminology is like R2RML[DSC12] building upon the relation data model, we showed in [UM16] by using views, this terminology can be applied to NoSQL stores. Further, we use the terms *relation*/*table* and *attribute*/*column* interchangeably.

Term map A *term map* is a tuple $tm = (A, ve)$ consisting of a set of relational attributes U from a single relation R and a value expression ve that describes the translation of U into RDF terms (e.g. R2RML templates for generating IRIs). Term maps are the base element of a mapping.

An example for such a *term map* is in Fig. 3 (b) the subject template `employee/{id}`. This term map creates URIs by concatenating the mappings base prefix with "employee/" and the content of the attribute "id" from the "employee" table.

Triple map A triple map *trm* is the triple (tm_S, tm_P, tm_O) of three *term maps* for generating the subject, predicate and object of a triple. All attributes of the three *term maps* must originate from the same relation R. A triple map defines how triples are actually generated from the attributes of a relation (i.e. rows of a table). R2RML allows both SQL tables and views expressed by SQL queries to be used as relation, which is consquently termed *logical table*.

Our definition conflicts with the R2RML `TriplesMap` specification, as a triple map always has one subject, one predicate and one object. R2RML on the other hands allows the definition of multiple predicate/object pairs. As this differentiation is only syntactical we use in our examples the R2RML syntax, as it more commonplace. For the rest of this paper we assume an implicit transformation into single predicate/object map `TriplesMaps` and use triple map for definition purposes.

4.2 Exemplary Mapping

As an exemplary use case we map a two-column *Employee* table Fig. 3 (a) with an R2RML mapping Fig. 3 (b). The R2RML mapping is composed out of two triples maps (i) and (ii) and consequently for each row in the table two triples will be emitted. The triple subject is in both cases build using a template and the *id* column. In case of (i) the *name* is mapped to a `foaf:name`, in case of (ii) *id* is mapped to the custom *id* property.

```
"Employee"
id|   name
----------
1 | 'Mary R.'
2 | 'James T.'
3 | 'Patricia I.'
```

(a) Employee table with three entries

```
<TriplesMapEmployee>
rr:logicalTable [rr:tableName "Employee"];
  rr:subjectMap [rr:template "employee/{id}"];
  rr:predicateObjectMap [  # (i) triple map 1
    rr:predicate foaf:name;
    rr:objectMap [rr:column "name"]];
  rr:predicateObjectMap [  # (ii) triple map 2
    rr:predicate <id> ;
    rr:objectMap [ rr:column "id"]].
```

(b) R2RML mapping of the *Employee* table.

Fig. 3: Relational table mapped by a R2RML mapping.

4.3 Update Pipeline

In the scope of this paper we will discuss only SPARQL 1.1 Update operations that are composed out of INSERTs and DELETEs, therefore not regarding graph manipulations. The concepts presented here however can readily be adapted to meet graph manipulation needs. Our approach for fulfilling the requirements determined in Sect. 2 is an extension of the already existing SparqlMap[UM16] pipeline as presented in Fig. 4. Like in read only scenarios, the first step in write scenario is to parse the request and in case of update queries, skipping over the query analysis step.

The *Mapping Binding* associates each triple of the update query with triple maps that can potentially generate such a triple. In a second step, resources occurring in more than one triple are used to further narrow down candidate triple maps, effectively precomputing the implicit SPARQL join in basic graph patterns. By not grouping triples same-subject wise we can better deal with denormalized data, as for example a table may produce multiple, different subjects based on different templates. This allows us to fulfill with requirement **R4**

In the subsequent *Value Extraction* the values to be modified are determined. Therefore RDF-Terms are compared with the corresponding term maps in order to generate a multiset of column/value pairs. In case of `rr:column` based term maps, a string representation of the RDF node is used, in case of `rr:template` term maps this string is decomposed into column-value pairs based on the template string. RDF-variables are likewise associated with term maps.

After the *Mapping Binding* and *Value Extraction* steps, for each triple we have a set of candidate `rr:TriplesMap`s and a multiset of column/value pairs, that represent potential filter conditions. So far, the insert query used the same processes as described in [UM16], where the *Value Extraction* is part of the query translation process. The *Update Method Select* Fig. 4 (1) is the first step in the SPARQL Update specfic pipeline, which triple-wise

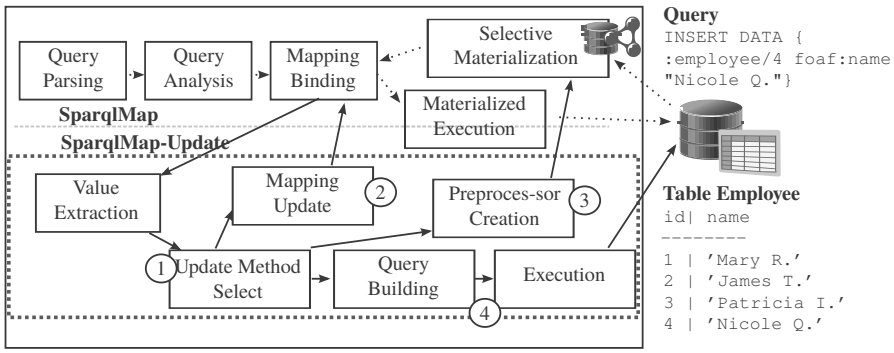


Fig. 4: The SparqlMap processing pipeline with the four proposed extension for bidirectional communication.

determines the subsequent update methods. This process is described in greater details after first describing the three update methods.

4.4 Data Source Update

The data source update Fig. 4 (4) aims at adding, modifying and deleting values or tuples from the underlying database by translating SPARQL updates into SQL DML queries and is comparable to the mechanisms of the other tools described in Sect. 3. The data source update flow can be applied to each triples, for which holds, that a bound triple map at a position wise comparison between the RDF Term and the term map at least one column of the mapped table is involved. Multiple triples that share resources and that map to the same table are grouped together into a single update operation to prevent constraint violations. With those pairs we calculate the actual update request. In case of deletes, where all columns of the mapped table are associated with either a value or a variable, rows can be deleted. If not all columns are matched and they are not used in any other term map, the value of those columns is set to NULL. In case of a constraint violation or the column is still used by another term map, the SPARQL Update is rejected.

To illustrate this using our exemplary mapping consider the SPARQL Update request `DELETE DATA { :employee/3 :id 3 }`. As here not all columns of the table are mapped, we test if setting the *id* column to NULL possible. The *id* column is however used in the subject of Fig. 3 triples map (i), therefore the update request has to be rejected.

Fig. 4 presents an example of a SPARQL Update insert query, which illustrates an other problem: Inserting a single triple results in a mapped virtual graph with two additional triples. Such insert operations can be rejected by an optional evaluation if additional triple maps are affected by the insert.

In case of inserts, constraints violations occur if an insert creates a new row with a previously used primary key or unique column value. We can either use backend specific methods, for example the MySQL `REPLACE INTO` operation, or a decide after a look-up in the database whether an insert is possible, as it targets a NULL value or if the insert has to be rejected or processed by an other update method. One of the problems arising here, is dealing with the lack of schema enforcement in the underlying data stores, caused by either not strictly formulated relational schemata or schema-less data sources. In those cases no schema violations can be detected and potentially inconsistent data may be inserted. We therefore propose to either validate the insert query with a Shapes Constraint Language (SHACL)[2] implementation or a backend specific validation tool, which allows us to fulfill with **R1**.

[2] `https://www.w3.org/TR/shacl/`

4.5 Mapping Update

The alternative to altering the mapped data source is updating the mapping itself. This can be a more efficient way to remove or update all data originating from specific columns/tables or term maps. Consider the following two queries: (a) `DELETE { ?s ?p ?o } WHERE {?s foaf:name ?name}` and (b) `DELETE {?s foaf:name ?o} INSERT {?s rdfs:label ?o}WHERE {?s foaf:name ?o}`. Query (a) deletes everything which has a `foaf:name`, in RDB-to-RDF with Data Source updates on our exemplary mapping, this will delete all rows from the employee table. Query (b) would in the RDB-to-RDF Data Source Update scenario move cell values to another column. As the property `rdfs:label` is not mapped in our exemplary scenario, the query would fail.

Executing a Mapping Update is a modification of the R2RML mapping, by means of SPARQL 1.1 Update queries over the virtual graph. A Mapping Update instead of an Data Source Update can be executed if for a specific triple all associated column/value pairs have at the value position only variables. In other words, a query expressing an equivalent Data Store Update contains no `WHERE` expressions. In case of delete statements, triple maps of this triple pattern can simply be deleted. In case of an DELETE/INSERT queries, constant term maps are replaced with an updated version. In any other case either an exception has to be raised and the SPARQL Update request has to be rejected, or alternatively be processed by one of the other update methods.

In our example a mapping update by query (a) would delete all triple maps of the employee mapping. Query (b) executed as mapping update would replace the constant term maps at the predicate position of Fig. 3 (b) term map (i).

4.6 Preprocessor Update

SparqlMap[UM16] features a lean RDF materialization pipeline for answering queries. Instead of modifying the data source, incoming SPARQL Update queries are stored and integrated into the mapping process. This integration can be performed by rewriting queries, which can dramatically increases query complexity, or by pushing and removing data from materialized graphs, which prohibits join pushing and increases data materialization. As a consequence, we conjecture that this approach is only suitable for small data set sizes, experiencing only a few updates.

This approach is comparable to the idea of using a dedicated overflow triple store in D2RQ++ [Ra10]. The preprocessor Update however allows the execution of updates, that previously were rejected.

The query `DELETE DATA { :employee/3 :id 3 }`, which failed on the data source update can now be executed. In consequence, during the materialization phase of a query this triple is filtered before its RDF terms can be bound to variables.

4.7 Update Method selection

In order to deal with scenario specific requirements, preferences can be configured and methods be excluded. For example in Sect. 2 scenario 2 **R3** defines that the data sources is immutable. Therefore, first the Mapping Update method and as a fall back the Preprocessor Update will be used. In contrast, scenario 1 demands handling of larger data volumes, ruling out the Preprocessor Update method. In this scenario, Data Set Update is the only applicable method, as the mapping is immutable because of it is ties to the logic of the search component. Update queries that cannot be processed by the Data Set Update would be rejected.

5 Implemenation and Evaluation

Our prototypical implementation of the Data Set Update pipeline in SparqlMap is available on github[3]. SparqlMap can be used acting as both command line tool or SPARQL endpoint. As SparqlMap builds on Apache Jena[4] as RDF framework and Apache MetaModel[5] as a pseudo-relational view on both relational and NoSQL DBMS, we therefore can fulfill requirement **R1**.

We evaluated our approach using a subset of the data generated by the Berlin SPARQL Benchmark (BSBM), namely instances of the *review* class on a Intel Xeon E3-1220 server with 8 GB of RAM with all data on a SSD.

The data set of BSBM is synthetic and features three different use cases, all of which represent interactions with a product database. A thorough description of the benchmark can be found in [BS09]. In our test we want to examine the performance characteristics of SparqlMap with varying insert bulk sizes and tests the systems performance in a use case similar to Sect. 2 scenario 1. We therefore created an CSV representation of the SQL output for the *review* instances with 100,000 entries. Mapped via R2RML mapping, this table represents approx. 1.08 million (virtual) triples. During the test we double its size, using varying sizes of bulk inserts. We run the benchmark with inserts of 1, 10, 100 and 1000 Reviews, with each review being represented on average by 10.8 triples.

Times were measured from withing SparqlMap, consequently HTTP overhead is ignored. We measured the average execution time for the four different steps of the process Fig. 4 and depict them in Fig. 5.

In summary, insert operations scale linearly in all four steps of the mapping process. In this scenario, inserting 10 triples takes about 1 millisecond. Notable in Fig. 5 is how the query parsing step dominates query runtime. In all cases approximately this step takes 10 times as

[3] http://github.com/tomatophantastico/sparqlmap
[4] http://jena.apache.org
[5] http://metamodel.apache.org

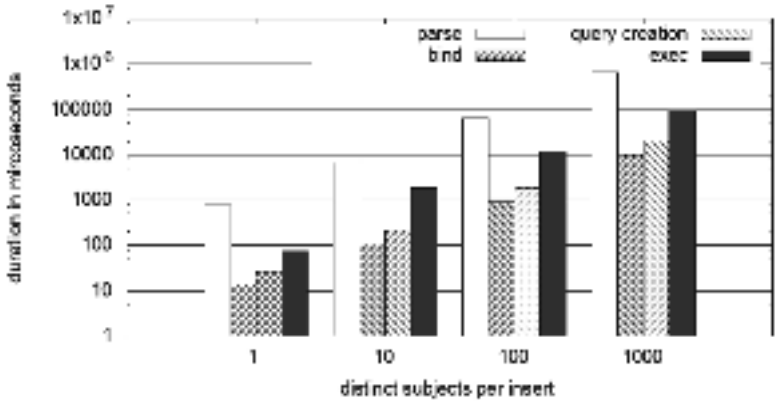


Fig. 5: Query execution time of insert queries into the BSBM `review` table on a log scale.

long as all the other steps combined. Consequently, in these simple insert cases, there is little room for improving the performance without modifying the Apache Jena SPARQL parser. We therefore consider **R2** to be fulfilled.

6 Conclusion

With our evaluation we demonstrate that SparqlMap Update scales well with increasing insert size and further optimizations are not required. We therefore focus on implementing the proposed multi-level validation and update-execution regime. Further, we will in future version support update operations over `rr:sqlViews`, enables us to benchmark the system using the full BSBM read/write scenario. Additionally, we plan on implementing the other update methods and benchmark them as well.

Acknowledgments This work was partly supported by a grant from the German Federal Ministry of Education and Research (BMBF) for the LEDS Project under grant agreement No 03WKCG11C.

References

[ADR06] Auer, Sören; Dietzold, Sebastian; Riechert, Thomas: OntoWiki–a tool for social, semantic collaboration. In: International Semantic Web Conference. Springer, pp. 736–749, 2006.

[BC06] Bizer, Christian; Cyganiak, Richard: D2r server-publishing relational databases on the semantic web. In: Poster at the 5th international semantic web conference. volume 175, 2006.

[BR16] Beretta, Francesco; Riechert, Thomas: Collaborative research on academic history using linked open data: A proposal for the heloise common research model. CIAN-Revista de Historia de las Universidades, 19(1):133–151, 2016.

[BS09] Bizer, Christian; Schultz, Andreas: The Berlin SPARQL Benchmark. IJSWIS, 2009.

[CLF09] Chebotko, Artem; Lu, Shiyong; Fotouhi, Farshad: Semantics preserving SPARQL-to-SQL translation. Data & Knowledge Engineering, 68(10):973–1000, 2009.

[DSC12] Das, Souripriya; Sundara, Seema; Cyganiak, Richard: R2RML: RDB to RDF Mapping Language. Technical report, 2012.

[EK12] Eisenberg, Vadim; Kanza, Yaron: D2RQ/update: updating relational data via virtual RDF. In: Proceedings of the 21st International Conference on World Wide Web. ACM, pp. 497–498, 2012.

[Fr13] Frischmuth, Philipp; Auer, Sören; Tramp, Sebastian; Unbehauen, Jörg; Holzweißig, Kai; Marquardt, Carl-Martin: Towards linked data based enterprise information integration. In: Proceedings of the 2013th International Conference on Semantic Web Enterprise Adoption and Best Practice-Volume 1106. CEUR-WS. org, pp. 26–34, 2013.

[GG11] Garrote, Antonio; García, María N Moreno: RESTful writable APIs for the web of Linked Data using relational storage solutions. In: WWW 2011 Workshop: Linked Data on the Web (LDOW2011). 2011.

[HRG10] Hert, Matthias; Reif, Gerald; Gall, Harald C.: Updating Relational Data via SPARQL/Update. In: Proceedings of the 2010 EDBT/ICDT Workshops. EDBT '10, ACM, New York, NY, USA, pp. 24:1–24:8, 2010.

[PCS14] Priyatna, Freddy; Corcho, Oscar; Sequeda, Juan: Formalisation and experiences of R2RML-based SPARQL to SQL query translation using Morph. In: Proceedings of the 23rd international conference on World wide web. ACM, pp. 479–490, 2014.

[Ra10] Ramanujam, Sunitha; Khadilkar, Vaibhav; Khan, Latifur; Seida, Steven; Kantarcioglu, Murat; Thuraisingham, Bhavani: Bi-directional translation of relational data into virtual RDF stores. In: Semantic Computing (ICSC), 2010 IEEE Fourth International Conference on. IEEE, pp. 268–276, 2010.

[RMHC12] Rodrıguez-Muro, Mariano; Hardi, Josef; Calvanese, Diego: Quest: efficient SPARQL-to-SQL for RDF and OWL. In: ISWC. 2012.

[SGP08] Schenk, Simon; Gearon, Paul; Passant, Alexandre: SPARQL 1.1 Update. Technical report, W3C, 2008. Published online on October 14th, 2010 at `http://www.w3.org/TR/2010/WD-sparql11-update-20101014/`.

[UM16] Unbehauen, Jörg; Martin, Michael: Executing SPARQL queries over Mapped Document Store with SparqlMap-M. In: Proceedings of the 12th International Conference on Semantic Systems. ACM, pp. 137–144, 2016.

[USA12] Unbehauen, Jörg; Stadler, Claus; Auer, Sören: Accessing relational data on the web with sparqlmap. In: Joint International Semantic Technology Conference. Springer Berlin Heidelberg, pp. 65–80, 2012.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 1903

Utilizing Linked Data Structures for Social-aware Search Applications

André Langer[1], Michael Krug[2], Luis Moreno[3] and Martin Gaedke[4]

Abstract:

Improving the user experience and conversion rate by means of personalization is of major importance for modern e-commerce applications. Several publications in the past have already dealt with the topic of adaptive search result ranking and appropriate ranking metrics. Newer approaches also took personalized ranking attributes of a connected Social Web platform into account to form so called Social Commerce Applications. However, these approaches were often limited to data silos of closed-platform data providers and none of the contributions discussed the benefits of Linked Data in building social-aware e-commerce applications so far. Therefore, we present a first formalization of a scoring model for a social-aware search approach that takes user interaction from multiple social networks into account. In contrast to other existing solutions, our approach focuses on a Linked Data information management in order to easily combine social data from different social networks. We analyze the possible influence of friend activities to the relevance of a person's search intent and how it can be combined with other ranking factors in a formalized scoring model. As a result, we implement a first demonstrator built upon RDF data to show how an application can present the user an adaptive search result list depending on the users' current social context.

Keywords: Linked Data, Social Networks, Social Commerce, Ranking Factors, Scoring Model

1 Introduction

The Social Web enables billions of users worldwide to digitally connect with other people and share personal information as well as arbitrary content that is related to their personal interests. Additionally, a personalized interaction with content becomes possible. Typical forms of these interactions are primarily *link clicks*, but also *likes*, *comments*, *shares* or simply *visual attention*.

[1] Technische Universität Chemnitz, Distributed and Self-organizing Systems Group, Str. der Nationen 62, 09111 Chemnitz, Germany, andre.langer@informatik.tu-chemnitz.de
[2] Technische Universität Chemnitz, Distributed and Self-organizing Systems Group, Str. der Nationen 62, 09111 Chemnitz, Germany, michael.krug@informatik.tu-chemnitz.de
[3] Technische Universität Chemnitz, Distributed and Self-organizing Systems Group, Str. der Nationen 62, 09111 Chemnitz, Germany, luis-antonio.moreno-gutierrez@informatik.tu-chemnitz.de
[4] Technische Universität Chemnitz, Distributed and Self-organizing Systems Group, Str. der Nationen 62, 09111 Chemnitz, Germany, martin.gaedke@informatik.tu-chemnitz.de

doi:10.18420/in2017_190

As of the end of 2016, more than 2.34 billion social network profiles existed, which represents a global penetration of 31% of all living humans [St16]. The number of different social network platforms varies continuously and includes centralized global providers such as *Facebook* with currently over 1.79 billion monthly active users[5] as well as domain-specific social platforms of medium-size and even decentralized social networks such as semantic-enabled profile pages using WebID[6] and FOAF[7]. This social data is a valuable asset for external application developers, because users voluntarily provide additional personal meta-information about themselves on centralized web service access points in the Social Web, which they would not necessarily enter manually on other websites, i. e. e-commerce sites. The data can be used for contextualization and personalization purposes to further improve the user experience in modern web applications. Well-known use cases are keyword auto-suggestion and -resolution, recommendations of potentially interesting items and also the usage for a search result ranking.

Search results are traditionally displayed in some kind of a list view. In general, a user has to perform a search action beforehand, normally by explicitly providing certain keywords to a search interface. The objective of automatic search result ranking is to display the corresponding search results with the highest relevance probability for the currently acting user on top of such a result list, as long as the user or system has not selected any other fixed sort criterion (such as sort by *creation date*, *lowest price*, etc.). The relevance of a result item is mainly measured by its recent performance, either through the total number of clicks (hits) by other users, the conversation rate, or based on the search history of the user. With the evolution and establishment of Social Web platforms, search providers also started to take Social Web data into consideration for result ranking purposes[8]. However, due to security and privacy concerns, common social platform providers started to limit the exposed user data for external applications. Furthermore, with the upcoming enforcement of the EU General Data Protection Regulation (GDPR)[9] in 2018, access to private data will be even more restricted. Also, current trends to re-decentralize the Social Web [Ma16] require adaptions in Social Commerce applications. Mainly, because classical approaches to handle personalized data based on solely one centralized Social Web platform do not fit any longer.

In this paper, we therefore exemplarily discuss a social-aware search application that is capable of taking ranking factors from multiple external Social Web profiles into account by handling them in a Linked Data representation. These ranking factors can be basic personal attributes describing the current user and its interests but also friend-network relationships and the activities they performed in the same web application in the past. Our main contribution is a scoring model for an adaptive result ranking algorithm taking all these social attributes, influence factors and activities into account. Additionally, we present a generic approach on how this data can be semantically managed on the basis

[5] https://zephoria.com/top-15-valuable-facebook-statistics/
[6] http://webid.info/spec/
[7] http://xmlns.com/foaf/spec/
[8] https://stonetemple.com/googles-matt-cutts-understanding-social-identity-on-the-web-is-hard/
[9] http://www.eugdpr.org/

of Linked Data in the form of RDF triples, which allows the combination of Social Web data from different social networks in one search activity.

The rest of the paper is structured as follows: First, Sect. 2 conceptually outlines challenges in a social-aware search application based on user data from heterogeneous, distributed social networks. In Sect. 3, we propose a first formalization of our adaptive search result ranking model that can be used for algorithmic purposes. Sect. 4 provides a proof of concept by presenting a web application that implements the presented formalization. Sect. 5 gives an overview of previous existing approaches and suggestions related to the topic of social-aware applications. Finally, Sect. 6 summarizes our proposed approach.

2 Conceptual Problem Analysis

This paper concentrates on adaptive ranking in keyword-based search applications. Our objective is to consider data from remote social networks as the basis for sophisticated appropriate ranking metrics. The proposed *social-aware search (SAS)* concept will not only rely on personal attributes characterizing the current user but also on the relationships in its friend network and the search actions and social activities of the user's acquaintances.

Firstly, we provide an example scenario to illustrate the challenges of social-awareness: We assume the existence of a web application *WA* that allows the search in a product stock *ASSETSTOCK*. This collection can contain arbitrary items, such as product data from a web shop or even bibliographic data from a digital library. *ASSETSTOCK* should be referenceable by semantic means in an RDF representation, so that each item can be addressed by a unique uniform resource identifier (URI). A user u invokes this web application and authorizes the access to one of its centralized or decentralized existing social profiles by performing an identification process. Depending on the remote Social Web platform *SWP*, the web application is then capable of accessing the friend network information of the current user with a set of friends F and retrieving the corresponding profile data. The data does not have to be in a Linked Data format in the retrieval step, but should be convertible into an RDF representation with a semantic concept mapping. This data is then accessed through a separate meta-data store *SASSTORE*. Friend entities that are already known by the application can be derived, mapped and taken into consideration for the adaptive result ranking. Since this is a one-time activity,

Based on this social data, the application can then already access information on items from the *ASSETSTOCK* which were searched by connected friends F in the past. After the current user u entered one or multiple keywords, the social-aware web application can retrieve all corresponding items and adaptively reorder it according to the relevance in the circle of friends of u based on an underlying scoring model *SM*.

There are two key requirements for this scenario to work in practice. First, the user has to social sign-in using the web application beforehand. This step is not trivial, because a user

is likely to enter and search anonymously on a website, and only signs in after the article of interest was already found. As this is a user interface interaction challenge, we will not focus on it here. Furthermore, not every current Social Web platform provides all relevant social data to external applications due to privacy restrictions or scope limitations.

3 Towards a Linked Data enabled Social Scoring Model

We present a scoring model that allows the calculation of the relevance of a given (URI-addressable) item resource to the current user based on interaction data that were stored in the past, and social relationship data from remote data endpoints. It is extensible with other ranking metrics and includes features such as data aging, ranking factor weighting, and confidence/trust values, according to the current use case requirements of the application provider.

3.1 The Social-Aware Search Scoring Model

To express recent activities of acquaintances from the users' social network we model interest in the form of clicks C on specific items that are displayed in a search result list. One specific click c can be characterized by a set of meta attributes $c = (a, r, t, s) \in C$, which are at least:

- the agent a who performed the click action
- the resource r of the clicked search item with an RDF subject IRI
- the time t of the click activity
- the actual search context s within the web application, primarily given by the search keywords the agent entered

To consider all relevant characteristics from social profiles, we use the formalization depicted in equation 1 to calculate a RelevanceScore *RS*.

$$RS(u, r, t', s') = \frac{1}{|SC|} \sum_{crit \in SC} \omega_{crit} \cdot \mathrm{MmtFn}_{crit}(u, r, t', s') \tag{1}$$

with u = current user, r = search item URL, t' = search time, s' = current search context, $crit$ = a social criterion $\in SC$ as a set of social criteria of interest, ω_{crit} = weight of $crit$, $MmtFn$ = a measurement function of $crit$

The formula calculates a continuous, normalized score value between 0.0 and 1.0 as a linear combination of all social criteria of interest, representing the relevance of the current search item to the user and the current search context. Each search item r, the user u and its acquaintances as well as the corresponding metadata properties can be directly described and

referenced by Linked Data resources. The measurement functions are individually modeled for each criterion, thus may have different dimensions. The result of the measurement function of each social criterion can be calculated independently and returns a value between 0.0 and 1.0 stating the partial relevance of this specific criterion. The influence of each criterion can be weighted according to the specific search application domain using ω_{crit}. Equation 2 instantiates the general formulation of the scoring model for an example use case, where the user u has relevant properties like e. g. gender, age and its friend network.

$$\begin{aligned} &RS(u, r, t', s') = 1/4 \cdot \\ &\omega_{GenderEquality} \cdot \text{MmtFn}_{GenderEquality}(u.Gender, r, s') + \\ &\omega_{AgeReq} \cdot \text{MmtFn}_{AgeReq}(u.Age, r, s') + \\ &\omega_{OwnInterestHist} \cdot \text{MmtFn}_{OwnInterestHist}(u.OwnInterestHist, r, t', s') + \\ &\omega_{FriendInterest} \cdot \text{MmtFn}_{FriendInterest}(u.FriendNetwork, r, t', s') \end{aligned} \tag{2}$$

As an example, the *FriendInterest* metric *FI* can be implemented as shown in equation 3 and interprets clicks on a search result as a signal for interest.

$$\text{MmtFn}_{FI}(u.FN, r, t', s') = \frac{1}{|C|} \cdot \sum_{f:(finu.FN)),(f,r,t,s)\in C} \frac{\text{strength}(u, f)}{\text{distance}(u, f)} \cdot \text{aging}(t, t') \tag{3}$$

with $s == s'$ and $t < t'$, where *FI* = FriendInterest, *FN* = FriendNetwork, f = a friend of the user's friend network, *strength* = a network cluster function to describe the trust relationship between u and f between 0.0 and 1.0 , *distance* = the hops in the friend network between u and f (for direct contacts equal to 1), *aging* = an aging modification function

We base our work on the assumption that there is an interest influence probability between related users which was also shown by other authors like [AKM08] or [GBL10] as statistically significant (cf. Sect. 5) and that certain search actions of a user's friend circle in the past are also of personal interest for him/herself in the present. We included a network *distance* concept between the current user and a friend, as well as a trust/confidence *strength* factor in the formalization (is it a good friend in the same knowledge area, or a loosely known acquaintance). The particular relevance calculation can then be based on the ratio of reoccurring clicks from the user's social network to the total number of clicks. We also identified that the *age* of the click action is of particular interest for its relevance, so the equation also contains an additional term with an aging function (clicks within the last hours might be of higher relevance than performed actions of a friend one year ago).

3.2 Key Benefits from using Linked Data

The presented scoring model for a relevance-based resource ordering based on the linear combination of multiple metrics of interest could be implemented built upon conventional data representations. But a Linked Data approach is more appropriate that it directly fits to the representation of search items as resources that are consumed by specific, explicitly describable people, both representable by a URL.

The Linked Data approach leads to several benefits:

- *Uniform representation:* The concrete application domain of the searchable items as well as the particular user's social network is irrelevant for the Scoring Model in the Social Commerce application because both are represented through uniform concepts. Moreover, we can uniformly define ranking metrics on all available data, optionally by using well-known query languages such as SPARQL.
- *Mapping of users:* By representing users from a particular social network through a specific URL, it is not only possible to retrieve their direct contacts but also relationships over multiple persons if several of them use the same social-aware web application. By using background knowledge, it is even possible to map users and friend interactions between multiple social networks by means of *owl:sameAs*.
- *Deduction and inference operations:* If additional properties are available describing a search item resource or the user from a social network in a Linked Data fashion, we can also use these properties to rank search items based on criteria that are not explicitly stated (such as spatial constraints, but also social concepts such as Likes on a Fan Page of a company or institution producing a particular product).

4 Prototype

To evaluate the integration of social attributes and social network friend relationships into a conventional search experience, we implemented a first social-aware search demonstrator. The underlying data model was separated into two databases: an *ASSETSTOCK* to store information about specific products provided by the web application, and an *SASSTORE* to represent the metadata from the Social Web describing specific people attributes and interactions with the search interface of the web applications. Both data stores are graph databases containing structured Linked Data sets.

The entire system architecture of the prototype is depicted in Fig. 1. An external authentication middleware module[10] is used to authenticate the current user and access its social profile (allowing centralized social networks such as *Facebook* as well as decentralized approaches such as *WebID*).

[10] `http://passportjs.org/`

After entering some keywords in a text field of a *WebUI*, the keywords are first *processed* and then used to define a search context by a *contextualization* module. A *result retrieval* module retrieves corresponding potential result items from the *ASSETSTOCK* data base. A *result processing* module then applies the approach presented in Sect. 3 and uses the available metadata from the *SASSTORE* to adaptively rank the available results based on the users' social data and its friends recent interaction data. In particular, it uses the resource URL from the RDF subject of a result item as an identifier to retrieve all the clicks of other known users that were performed in the same context on these result items in the past.

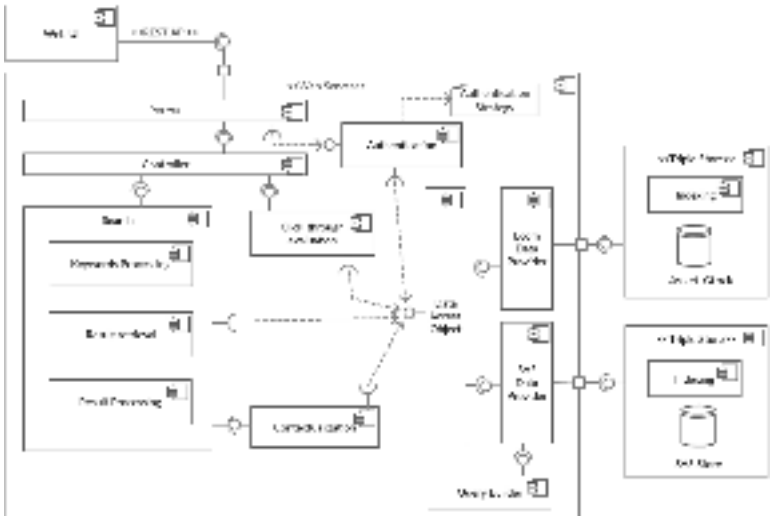


Fig. 1: Initial prototype architecture

We use bibliographic data of recent publications in the *ASSETSTOCK* as a basic data set example, that is primarily based on the schema.org vocabulary. Clicks on the displayed search results are written back in a semantic fashion to the *SASSTORE*, especially the resource URL of the selected item, a time and the keyword context the user entered (see List. 1).

```
sas:searchRecord1484823549222 rdfs:type schema:searchAction ;
        schema:agent <http://example.org/sas/users/user190> ;
        schema:startTime "1484823549222" ;
        schema:query "Semantic Web" ;
        schema:result <http://example.org/keseda/publication127> .
```

List. 1: Exemplary search activity for a user who clicked on a result item after searching for 'Semantic Web'

Basically, the SAS demonstrator can be used anonymously without a social login as a conventional search interface by ranking the search results according to their relevance based on a click-through rate (CTR). As depicted in Fig. 2, the first two items in the result list were selected twice in total in the past and are then ranked alphabet-

ically, whereas the third item was only clicked once by users performing a search for publications dealing with *'Semantic Web'* in the past.



Fig. 2: Default result ranking without social information

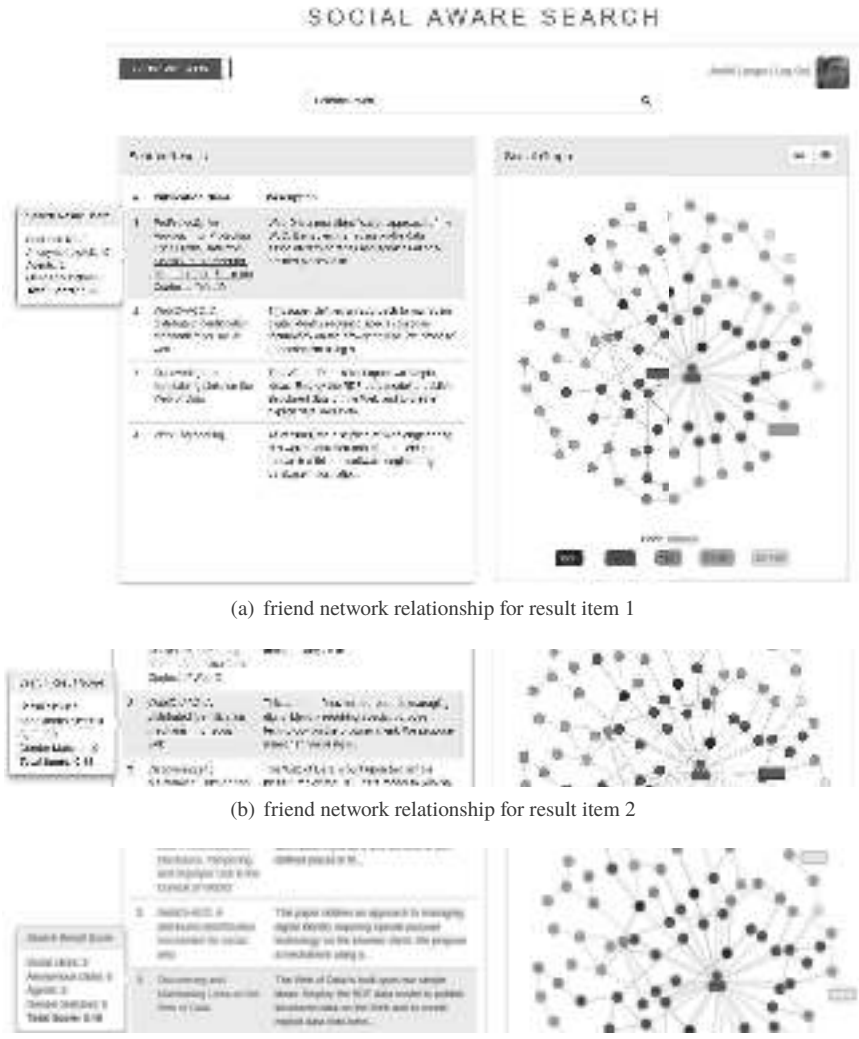
If a user now alternatively social signs-in, the system will then retrieve the exposed social user data from a Social Network and store it in the *SASSTORE* graph store. For evaluation purposes, we used the *Facebook OpenGraph API* to retrieve basic personal attributes such as *gender*, *age* and *location* of the current user as well as its direct friend relationships to other *Facebook* users. The exposed data was converted into a Linked Data representation, primarily by using the FOAF ontology. However, in order to represent all characteristics of social network relationships, FOAF turned out to be not sufficient. Therefore, an extension with the Social Relationships Ontology (SORON) was necessary (see List. 2).

```
<http://example.org/sas/users/190> foaf:name "Andre Langer" ;
        rdfs:type foaf:Person ;
        foaf:gender "male" ;
        foaf:holdsAccount <https://www.facebook.com/app_scoped_user_id/...> ;
        soron:colleagueOf <http://example.org/sas/users/user23> ;
        soron:acquaintanceOf <http://example.org/sas/users/user24> ;
        soron:friendOf <http://example.org/sas/users/user4> .
```

List. 2: Exemplary social meta-data for user190

After performing the search action, the retrieved result item RDF triples are now further processed. For each result item, the set of agents (particular the agent resource URLs who clicked on this item in the past from the *SASSTORE*) are compared with the social-network acquaintances of the current user. If other acquaintances of the user have already searched for these items within the same web application, a set of relevant characteristics is used such as the distance, relationship strength and click time to calculate a global relevance score value for each result item of the executed search. The search items are then listed accordingly to their relevance score.

An example GUI of the demonstrator with enabled social-aware search functionality is illustrated in Fig. 3. For demonstration purposes, a graph visualization component[11] was added to display the influences of the current social friend network on the result ranking decision.



(a) friend network relationship for result item 1

(b) friend network relationship for result item 2

(c) friend network relationship for result item 3

Fig. 3: Adaptive ranking of search results in our social-aware search prototype

The scenario uses the same data as already discussed in the conventional use case in Fig. 2, but this time the adaptive ranking can benefit from the knowledge of existing social

[11] http://visjs.org/docs/network/index.html

relationships to other known users. The presented search result item order is different from the anonymous use case. The secondly ranked result item from the anonymous usage scenario is now the top-ranked result item in Fig. 3(a), because the item was recently also relevant for direct acquaintances of the current user. A different item is also placed on the second position of the result list; interestingly with less absolute conversion clicks than the third-ranked item. Obviously, because its clicks are classified as higher relevant because they derive from an acquaintance in the direct contact circle whereas the clicks of the third item origin from indirect contacts with a higher relationship distance.

The quality of the adaptive social-aware result ranking is of course dependent from the number of known users who already performed similar interactions in the past, and know each other. Nevertheless, the demonstrator results confirm the assumptions that users in a social network tend to influence each other and that interactions of a particular user from the past can be used as relevant meta-data for a social aware adaptive search result ranking of a related user in the present.

Additionally, the demonstrator shows that the Linked Data approach easily allows obtaining advanced social relationship knowledge by using shattered friend network data of multiple users. Whereas the *Facebook OpenGraph API* permits only to retrieve contact information of direct friends, the web application can subsume the information of multiple friends to build a multi-level social friend network representation. This contact and social relationship information does not necessarily have to be from the same social network; it can also be derived from internal background knowledge or even by synthetically generated.

5 Related Work

Adaptive result ranking is of major interest for data scientists as well as for industrial purposes. It is not only relevant for traditional search engine providers, but also for application providers with sophisticated search interfaces in general. Traditional ranking factors and metrics are frequently analyzed and published, e. g. in [Se16]. Newer approaches also focus on social attributes that can be used for a personalized result ranking. Authors analyzed influence probabilities among friend networks within the Social Web, e. g. [AKM08] and showed a qualitative indication of the existence of influence and correlation in social networks, whereas [GBL10] focused on influence probabilities. [Wu14] provided examples for a top-k search approach, which is extended by others to a personalized, network-aware search [Ca09, MC13]; common scenarios are a news search or image tagging. [Kö16] emphasized the trust aspect and generation through social recommendations, especially in mobile commerce. However, none of these approaches used Linked Data structures for social-information filtering in the past. Our approach uses RDF structures for representing item resources as well as social interaction meta information. We used the results of these recent contributions and built a scoring model that is capable of taking interaction influence between related users from different social networks into account.

The Linked Data approach to semantically annotate, access, combine and interpret information as RDF triples in a unique way is already well understood [BHB09, WT13]. It is also used in various ways. However, concepts combining social web data with Linked Data to uniformly access and process the information from social networks for industrial purposes are to the best of our knowledge still rare; e. g. [PV13] use Linked Open Data to improve recommendations in the e-commerce domain. [GNP05] used a similar idea to define and exchange social context information through FOAF graphs but they applied a PageRank formula with a random surfer model to calculate a ranking score whereas our scoring model allows the linear combination of arbitrary metrics on concrete result resource items.

6 Conclusion and Future Work

In this paper, we described the idea of a social-aware search (SAS) that takes multiple social attributes and friend network relationships into consideration to achieve an adaptive result ranking. In contrast to several other existing suggestions for ranking models based on data from the Social Web, our approach is built upon Linked Data principles and allows the interoperability and combination of user behavior data from different social networks without relying on application-specific user profiles. A SAS enabled Web application can access user data from Social Web platforms and use this information for improving search relevance and experience.

We particularly focused on friend-network relationships and adapted the idea of collaborative filtering. Therefore, we extended the traditional way to retrieve Social Web data by means of Linked Data, so that operations such as inference can be performed based on specific ontologies that operate on RDF data.

After presenting a first working prototype, the next step will be to conduct user studies to evaluate the advantages of a SAS and how users respond to it. Additionally, we want to particularly use the inference capabilities of the Linked Data approach to derive advanced ranking factors and measurements based on ontological relationships between involved social web platform entities. This will include the extension of our scoring model with factors like shares, comments and likes.

Acknowledgment. This work was supported by the grant from the German Federal Ministry of Education and Research (BMBF) for the LEDS Project under grant agreement No 03WKCG11D.

References

[AKM08] Anagnostopoulos, Aris; Kumar, Ravi; Mahdian, Mohammad: Influence and Correlation in Social Networks. In: Proceedings of the 14th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining. KDD '08, ACM, New York, NY, USA, pp. 7–15, 2008. http://doi.acm.org/10.1145/1401890.1401897.

[BHB09] Bizer, Christian; Heath, Tom; Berners-Lee, Tim: Linked Data - The Story So Far. International Journal on Semantic Web and Information Systems, 5(3):1–22, 2009. http://dx.doi.org/10.4018/jswis.2009081901.

[Ca09] Carmel, David et al.: Personalized Social Search Based on the User's Social Network. In: Proceedings of the 18th ACM Conference on Information and Knowledge Management. CIKM '09, ACM, New York, NY, USA, pp. 1227–1236, 2009. http://doi.acm.org/10.1145/1645953.1646109.

[GBL10] Goyal, Amit; Bonchi, Francesco; Lakshmanan, Laks V.S.: Learning Influence Probabilities in Social Networks. In: Proceedings of the Third ACM International Conference on Web Search and Data Mining. WSDM '10, ACM, New York, NY, USA, pp. 241–250, 2010. http://doi.acm.org/10.1145/1718487.1718518.

[GNP05] Ghita, Stefania; Nejdl, Wolfgang; Paiu, Raluca: Semantically rich recommendations in social networks for sharing, exchanging and ranking semantic context. Lecture Notes in Computer Science, 3729 LNCS:293–307, 2005.

[Kö16] Köster, Antonia; Matt, Christian; Torremante, Larissa; Hess, Thomas; Heinze, Jörg: Vertrauensbildung durch soziale Empfehlungen: Zur Rolle von Empfehlungssystemen im M-Commerce. Informatik-Spektrum, 2016.

[Ma16] Mansour, Essam; Sambra, Andrei Vlad; Hawke, Sandro; Zereba, Maged; Capadisli, Sarven; Ghanem, Abdurrahman; Aboulnaga, Ashraf; Berners-Lee, Tim: A Demonstration of the Solid Platform for Social Web Applications. Proceedings of the 25th International Conference Companion on World Wide Web, pp. 223–226, 2016.

[MC13] Maniu, Silviu; Cautis, Bogdan: Network-aware Search in Social Tagging Applications: Instance Optimality Versus Efficiency. In: Proceedings of the 22Nd ACM International Conference on Information & Knowledge Management. CIKM '13, ACM, New York, NY, USA, pp. 939–948, 2013. http://doi.acm.org/10.1145/2505515.2505760.

[PV13] Peska, Ladislav; Vojtas, Peter: Using Linked Open Data to Improve Recommending on E-Commerce. In: Proceedings of the 2nd International Workshop on Recommender Systems meet Big Data & Semantic Technologies. 2013.

[Se16] Searchmetrics: Rebooting Ranking-Faktoren. Technical report, 2016. http://www.searchmetrics.com/de/knowledge-base/ranking-faktoren, Accessed 2017-01-17.

[St16] Statista: , Statistics and facts about social media usage, 2016. https://www.statista.com/topics/1164/social-networks/, Accessed 2017-01-16.

[WT13] Weaver, Jesse; Tarjan, Paul: Facebook Linked Data via the Graph API. Semantic Web, 4(3):245–250, July 2013. http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2786071.2786074.

[Wu14] Wu, Dingming; Li, Yafei; Choi, Byron; Xu, Jianliang: Social-Aware Top-k Spatial Keyword Search. In: 2014 IEEE 15th International Conference on Mobile Data Management. volume 1, pp. 235–244, 2014.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 1915

CubeViz.js: A Lightweight Framework for Discovering and Visualizing RDF Data Cubes

Konrad Abicht[1], Georges Alkhouri[2], Natanael Arndt[3], Roy Meissner[4] and Michael Martin[5]

Abstract: In this paper we present CubeViz.js, the successor of CubeViz, as an approach for lightweight visualization and exploration of statistical data using the RDF Data Cube vocabulary. In several use cases, such as the European Unions Open Data Portal, in which we deployed CubeViz, we were able to gather various requirements that eventually led to the decision of reimplementing CubeViz as JavaScript-only application. As part of this paper we showcase major functionalities of CubeViz.js and its improvements in comparison to the prior version.

Keywords: Statistics, Exploration, Linked Data, Visualization

1 Introduction

It is possible to encode and publish statistics originated in several knowledge domains as part of the Web of Data using the RDF Data Cube vocabulary [CRT13]. In order to visualize these statistics, the web application CubeViz [Ma15] can be used to generate user friendly and interactive charts. During the last six years of developing CubeViz[6] as an OntoWiki extension [Fr15], we have experienced some major limitations of CubeViz. These are:

1. IT-infrastructures often have strict requirements for integrating new applications. For example PHP applications are sometimes not allowed.
2. CubeViz can not be deployed separately from OntoWiki. Thus, integrating CubeViz results in setting up a large technology stack that might be challenging to set up.
3. CubeViz uses the RDF framework Erfurt that doesn't support blank nodes. As a consequence, CubeViz is not able to process all kinds of valid Data Cubes.

[1] AKSW, Leipzig University, Augustusplatz 10, 04109 Leipzig, Germany abicht@informatik.uni-leipzig.de
[2] HTWK Leipzig, Gustav-Freytag-Str. 42A, 04277 Leipzig, Germany georges.alkhouri@stud.htwk-leipzig.de
[3] AKSW, Leipzig University, Augustusplatz 10, 04109 Leipzig, Germany arndt@informatik.uni-leipzig.de
[4] AKSW, Institute for Applied Informatics (InfAI), e.V. Hainstraße 11, 04109 Leipzig, Germany meissner@informatik.uni-leipzig.de
[5] AKSW, Leipzig University, Augustusplatz 10, 04109 Leipzig, Germany martin@informatik.uni-leipzig.de
[6] CubeViz project at Github: `https://github.com/AKSW/cubeviz.ontowiki`

doi:10.18420/in2017_191

4. Erfurt has currently no stable implementation of remote SPARQL endpoints and files as data sources. Thus, a cumbersome workflow is necessary in order to publish RDF graphs, for CubeViz especially RDF Data Cubes.

In order to tackle these issues we decided to reimplement CubeViz from scratch as a JavaScript-only application. To showcase the differences between both, CubeViz and its successor CubeViz.js, we present a brief overview on CubeViz, its architecture, core functionality and its limitations first in Sect. 2. Based on the mentioned limitations requirements for the new implementation were derived, which is now applicable to almost any web project. Sect. 3 contains the resulting implementation and its implications. Tools that deal with visualization of RDF Data Cube encoded statistics are presented in section Sect. 4. Lastly, the whole paper is summarized in Sect. 5, where also future development tasks are outlined.

General information about the CubeViz project can be found at the project page cubeviz.aksw.org[7].

2 Limitations of CubeViz and derived requirements for CubeViz.js

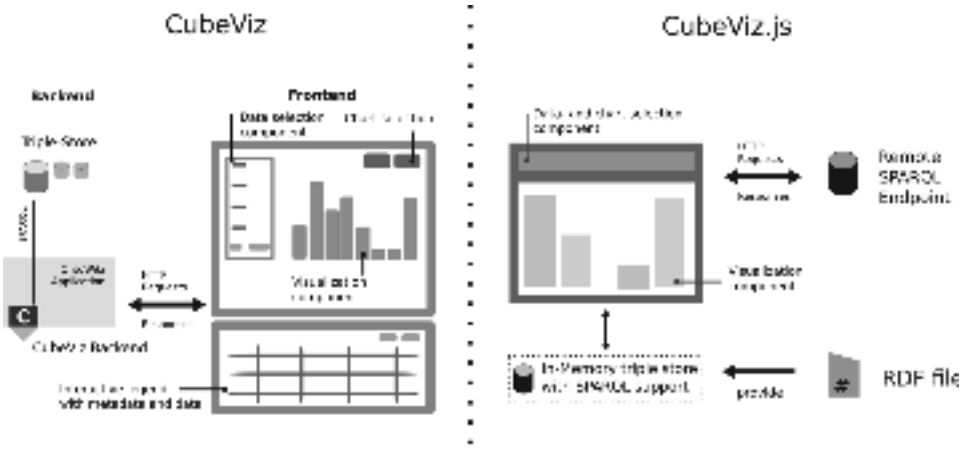


Fig. 1: Architectures of CubeViz and CubeViz.js

CubeViz [Ma15] is an OntoWiki extension for exploring Data Cubes expressed in RDF. In the following paragraphs, we briefly summarize the architecture and the three major components of CubeViz: *integrity analysis*, *faceted data selection* and *chart generation*. CubeViz is based on the architecture of the OntoWiki Application Framework (OAF) as illustrated in Fig. 1. The presentation layer (written in HTML and JavaScript) is used as an interface for human computer interaction tasks, while the application layer (implemented in

[7] CubeViz project website: `http://cubeviz.aksw.org/`

PHP) handles the communication with a configured SPARQL endpoint and processes and enriches the result sets of the queried RDF Data Cubes. The architecture is well supported through OAF regarding the back-end communication, message handling and GUI generation, but has some drawbacks, regarding optimization of the data flow in order to speed-up the application. Furthermore we discovered that it is not necessary to implement the application logic server-side. Implementing CubeViz as a client-side application moves major tasks (e.g. rendering or data processing) to the client, therefore reducing server load and HTTP request handling a lot. This speeds-up the application and reduces dependencies to various runtime environment libraries.

CubeViz is a client-server application that heavily depends on the availability of the server-side part. In case the server-side part crashes for some reason, the whole application isn't usable anymore. CubeViz.js in contrast is a client-side only application that connects to a server-side part and is thus resistant against server-side failures. Exchanging the used SPARQL endpoint is enough to get CubeViz.js back to work.

The GUI of CubeViz is designed in a modular way as illustrated on the left side of Fig. 1 and consists of three major components: data selection, visualization and the interactive chart legend. The data selection component provides a selection box for resources that are referenced by component properties (Dimensions, Attributes, Measures, Slices). By providing a desired selection to the respective server-side component, a result set containing all selected statistical observations is computed and sent to the visualization and chart legend components. The visualization component analyses the set of resulting observations to offer the selection of meaningful charts. Offered charts (e.g. bar chart and scatter plots) are selectable, visualized using different chart APIs (such as HighCharts[8] and d3.js[9]), and configured according to the users needs (e.g. the selection of a specific scale). The chart legend component contains all given observations, represented as a data table and provides the option to refine given values and to update the chart accordingly. Due to the fact that every (revised) data selection and its corresponding (configured) visualization is represented by a unique URL, generated charts are easily shareable.

Based on our own experiences with CubeViz and supported by the user community we derived the following requirements for CubeViz.js:

- *Client-side only Application:* To be fitted into the majority of IT-infrastructures and web applications, the server-side part has to be replaced by respective JavaScript components that are communicating to a SPARQL endpoint via HTTP(S).
- *Extend the support of further data sources:* CubeViz is able to process Data Cubes provided by a self-maintained SPARQL endpoint. Data Cubes that are published differently (e.g. Turtle or JSON files) are only processable if they are imported into

[8] HighCharts Website: `http://www.highcharts.com/`
[9] D3.js Website: `https://d3js.org/`

a SPARQL endpoint first. Apart from this, Data Cubes provided as JSON-LD will improve the integration into third party systems.

- *Improve handling:* Removal of unnecessary abstraction layers and improve handling of huge data sets (50+ dimension elements).
- *Prohibition of a zero selection:* If RDF Data Cubes are sparse, it is possible to receive an empty result set after using the data selection component of CubeViz. Every selection must result into a set of observations.
- *Data flow:* There has to be support for unidirectional data flow and loosely coupled web components. An unidirectional data flow improves, for instance, UI update conditions and debugging. Loose coupling helps to integrate CubeViz into different software environments.
- *Message bus:* Supporting the usage of a subscription based message bus for error and message handling.
- *Responsiveness:* The application needs to support common devices, such as smartphones, tablets and desktop computers.

3 Architecture and Implementation of CubeViz.js

As a result of the requirements and limitations presented in Sect. 2, we designed CubeViz.js as a JavaScript-only application. The following subsections outlines an overview of CubeViz.js's architectural details.

To integrate CubeViz.js in almost every web project we decided to use Flux[10] and React[11] as frameworks. Both frameworks complement each other perfectly and offer the ability to integrate with different design patterns and support loose coupling. Furthermore, we used the ecc-messagebus[12] that extends the Flux event dispatcher by a subscription based message bus and provides an improved error and message handling. CubeViz.js is implemented according to the ECMAScript 6 [Ec15] specification. We applied for example *Promises*, that is a convenient alternative to nested callbacks [KBDM13].

To provide RDF Data Cube resources from different sources (remote SPARQL endpoint files), we integrated rdfstore-js[13], a JavaScript-based triple store. Rdfstore-js supports SPARQL 1.0 and 1.1 standards for communication with web accessible triple stores. Furthermore rdfstore-js supports dynamic import of files containing triples (encoded with common notations) and provides them as an in memory model that may be queried via SPARQL. Architectural changes between CubeViz and CubeViz.js are depicted in Figure 1.

[10] Website of Flux: `https://facebook.github.io/flux/`
[11] Website of React: `https://facebook.github.io/react/`
[12] Github project of ecc-messagebus: `https://github.com/elds/ecc-messagebus`
[13] Github project of rdfstore-js: `https://github.com/antoniogarrote/rdfstore-js`

CubeViz provides a comprehensive set of features to select and visualize observations. In CubeViz.js, we adopted most of the concepts of CubeViz but improved them regarding the performance/handling using a configurable set of restrictions (i.e. the amount of observations to be visualized). Furthermore, CubeViz.js is being developed using the *mobile first* approach in order to create a responsive web application. Thus, CubeViz.js offers an enhanced user experience and may be used on almost any commonly used device.

The repository for CubeViz.js is hosted on Github at `https://github.com/AKSW/cubevizjs/`. Alongside the publicly available repository, we provide a web demo of the current development state of CubeViz.js[14] as depicted in Fig. 2.

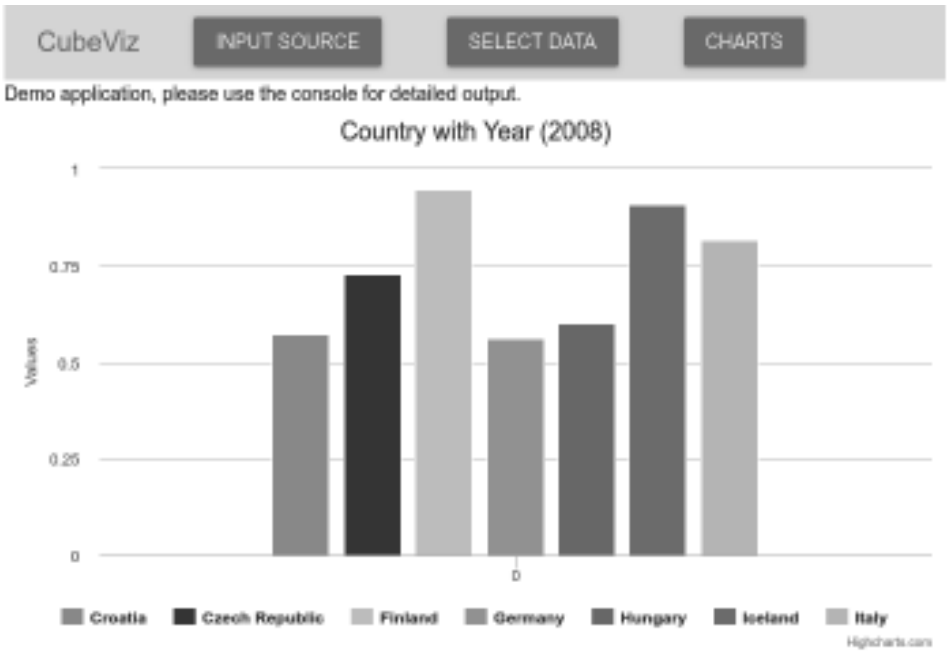


Fig. 2: Screenshot of CubeViz.js's user interface

4 Related Work

The W3C aggregated a comprehensive overview of tools in this research area at the W3C Wiki[15]. Three major tools from the W3C list are explained in the following paragraphs.

[14] CubeViz.js Demo: `http://cubevizjs.demo.aksw.org`

[15] W3C Wiki about RDF Data Cube visualization tools: `https://www.w3.org/2011/gld/wiki/Data_Cube_Implementations`

OpenCube Toolkit The OpenCube Toolkit [Ka14] enables to publish and to explore RDF Data Cubes using charts. It supports aggregation functions like `AVG` and `SUM` and integrates `R` scripts [Ri01, Da08]. These provide comprehensive support for statistical analyses. CubeViz.js is, in contrast, focused on data discovery tasks and is operating on materialized RDF Data Cubes. One of the advantages of CubeViz.js is the comprehensive faceted based search (i.e. to search and select dimension elements), that is as a basic version also available for OpenCube, but way less detailed.

Linked Data Cube Explorer LDCX The Linked Data Cube Explorer[16] (LDCX) is part of the OLAP4LD framework [KH14]. This framework enables to develop linked data web applications facilitating actions on RDF Data Cubes. LDCX provides a detailed data selection via dimension elements, measures, and a chart visualization, similar to CubeViz.

Linked Statistical Data Analysis The Linked Statistical Data Analysis[17] analyses and visualizes statistics encoded as RDF Data Cubes [CAR13]. The authors of the project summarized, that their work offers a Web based user-interface for a wide community (researchers, journalists, or interested people in general) which enables to compare statistical data from different sources without requiring any knowledge about the underlying technology. Furthermore, this tool provides a huge set of analysing functionalities due to the integration of R[18].

5 Conclusion and Future Work

We presented CubeViz.js, a lightweight Web-application for statistical data discovery and exploration tasks. The first version of CubeViz was implemented as an OntoWiki extension using PHP/HTML/JS. During various projects, in which CubeViz was used and had to be deployed to differing IT-infrastructures, we recognized huge limitations that arose due to architectural design decisions. As a consequence, we started to implement CubeViz.js from scratch, as a JavaScript-only client that can be integrated in almost every Web based infrastructure. The CubeViz project was started in 2011 and is still ongoing. Future development iterations will focus on:

- Improving the error tolerance while processing not perfectly designed RDF Data Cubes,
- Integration of additional charts for an improved visualization of multi-dimensional selections.

[16] Project website of Linked Data Cube Explorer: `http://km.aifb.kit.edu/projects/ldcx/`
[17] Website of Linked Statistical Data Analysis: `http://stats.270a.info`
[18] `https://www.r-project.org/`

Modules, integrated into CubeViz, for (a) quality analysis and (b) simultaneous processing of several RDF Data Cubes are removed from CubeViz.js and will be pursued in separate projects.

Acknowledgement

This work was partly supported by the following grants from the German Federal Ministry of Education and Research (BMBF) for the LEDS Project under grant agreement No 03WKCG11C and the European Union Horizon 2020 research and innovation programme for the SlideWiki Project under grant agreement No 688095.

References

[CAR13] Capadisli, Sarven; Auer, Sören; Riedl, Reinhard: Linked statistical data analysis. Semantic Web Challenge, 2013.

[CRT13] Cyganiak, Richard; Reynolds, Dave; Tennison, Jeni: The RDF Data Cube vocabulary. Technical report, W3C, 2013. http://www.w3.org/TR/vocab-data-cube/.

[Da08] Dalgaard, Peter: Introductory statistics with R. Springer Science & Business Media, 2008.

[Ec15] Ecma International: ECMAScript 2015 Language Specification. Geneva, 6th edition, June 2015.

[Fr15] Frischmuth, Philipp; Martin, Michael; Tramp, Sebastian; Riechert, Thomas; Auer, Sören: OntoWiki—An Authoring, Publication and Visualization Interface for the Data Web. Semantic Web Journal, 6(3):215–240, 2015.

[Ka14] Kalampokis, Evangelos; Nikolov, Andriy; Haase, Peter; Cyganiak, Richard; Stasiewicz, Arkadiusz; Karamanou, Areti; Zotou, Maria; Zeginis, Dimitris; Tambouris, Efthimios; Tarabanis, Konstantinos A.: Exploiting Linked Data Cubes with OpenCube Toolkit. In: International Semantic Web Conference (Posters & Demos). volume 1272 of CEUR Workshop Proceedings. CEUR-WS.org, pp. 137–140, 2014.

[KBDM13] Kambona, Kennedy; Boix, Elisa Gonzalez; De Meuter, Wolfgang: An evaluation of reactive programming and promises for structuring collaborative web applications. In: Proceedings of the 7th Workshop on Dynamic Languages and Applications. ACM, p. 3, 2013.

[KH14] Kämpgen, Benedikt; Harth, Andreas: OLAP4LD–A framework for building analysis applications over governmental statistics. In: European Semantic Web Conference. Springer, pp. 389–394, 2014.

[Ma15] Martin, Michael; Abicht, Konrad; Stadler, Claus; Auer, Sören; Ngomo, Axel-C. Ngonga; Soru, Tommaso: CubeViz – Exploration and Visualization of Statistical Linked Data. In: Proceedings of the 24th International Conference on World Wide Web, WWW 2015. 2015.

[Ri01] Ripley, Brian D: The R project in statistical computing. MSOR Connections. The newsletter of the LTSN Maths, Stats & OR Network, 1(1):23–25, 2001.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 1923

Discover Barrier-free Accessible Locations with the Location Navigator

Konrad Abicht*[1], Simeon Ackermann[2] and Michael Martin[3]

Abstract: We present the current version of the Location Navigator, which supports users by finding locations in Leipzig, that can be accessed without barriers. Besides this current version of the prototype we present additionally experiences regarding its engineering process and the previously performed conversion of Open Data provided by the registered association Behindertenverband Leipzig e.V. (BVL). Our vision of the underlying data is an inter-commune data network, in order to support persons with special needs and, furthermore, to apply developments such as the Location Navigator to other municipalities. For this purpose, RDF will be used for the representation and linking of data in the future. Besides the presentation of the Location Navigator, we sketch some approaches we evaluated during the creation of the respective data model.

Keywords: open data; people with disabilities; locations; data management

1 Introduction

As people with disabilities are able to plan and shape their daily lives outside their home, they often need special information. In Germany many public locations are not fully accessible[4]. If people are visiting i.e. a foreign city, they need to inform themselves about the availability of wheelchair suitable toilets and corresponding address information. Therefore they have to obtain manually detailed and approved information about those public locations. The BVL provides a static website, based on the relational database Microsoft Access (RDB), which contains a wide range of information about locations in Leipzig but without any search and filter function.

[1] *Corresponding author. Address: Leipzig University, Institute of Computer Science, AKSW Group, Augustusplatz 10, 04109 Leipzig, Germany abicht@informatik.uni-leipzig.de
[2] Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig (HTWK) - University of Applied Sciences, Gustav-Freytag-Str. 42A, 04277 Leipzig, s.ackermann@mail.de
[3] Leipzig University, Institute of Computer Science, AKSW Group, Augustusplatz 10, 04109 Leipzig, Germany martin@informatik.uni-leipzig.de
[4] Regarding to statements of the Behindertenverband Leipzig e.V. (BVL) and their experience and observations of the last 20 years.

doi:10.18420/in2017_192

In 2016 we[5] started a cooperation[6] with the Behindertenverband Leipzig e.V.[7] (BVL) as part of the LEDS project[8]. The BVL is a non-profit organization which cares about issues of people with disabilities. Founded in 1990, the BVL is attendee in several councils, provides consulting and educates people about disabilities. Besides that, the BVL maintains a database, which contains information about locations in Leipzig and their degree of accessibility.

At the beginning of the project, our major goal addresses the publication of the data using a respective open license, to gain more attraction to a broader community. Hence, not only disabled people can benefit from the data. The data can also be of interest, for example, for governmental departments and companies. At a later stage, we developed the Location Navigator to give insights about the dataset and to showcase how the dataset can be used exemplary.

In this document we present our work, which includes the enrichment of the CSV export of the accessibility data as well as the development of the Location Navigator. As a next development step, we will convert the current version of the dataset to RDF (including the deployment in an open accessible triple store), to enrich the data with respective semantics and to lower the barrier by reusing the data in further use cases. With the best of our knowledge, currently are no suitable RDF vocabularies available, which makes it necessary to develop a new one. Despite being future work, we want to discuss our thoughts in more detail, to outline our motivation. The new vocabulary could be set on top of an ontology, describing general features of a buildings. Such an ontology could be the *3D building ontology* developed by M. Goetz and A. Zipf [GZ11], which offers possibilities of representing inner aspects of buildings. It describes parts of the building to enable i.e. indoor navigation and it also provides general information, such as types of building doors or how buildings parts are connected. On top, we will build an ontology with more detailed information about accessibility features.

In the following section we present related projects. Afterwards in section 3 the data model and the underlying management process is sketched. In section 4 we give a brief presentation of the developed prototype. Finally, we conclude our work in section 5 and give some insights about future steps towards achieving our goals.

2 Related work

In this section, we compare the Location Navigator with further web applications, dealing with information about the accessibility of buildings and public places.

[5] Members of the Leipzig University and Lecos GmbH
[6] http://www.leds-projekt.de/de/aktuelles/2016/zusammenarbeit-mit-behindertenverband.html
[7] http://www.le-online.de/infos.htm
[8] http://www.leds-projekt.de/de/linked-enterprise-data-services.html

Wheelmap[9], published by the *Sozialhelden*[10], is an online map service for searching, finding and marking places accessible by wheel-chaired people. Stored data is crowdsourced [DWW14], which means that everbody can add information about accessible or non-accessible locations. We received feedback from the BVL, that Wheelmap contains contrary information, compared with data from the BVL (provided data is not verified). Furthermore, Wheelmap provides only three states about the accessibility: (a) fully accessible, (b) partial accessible and (c) not accessible. In comparison, the Location Navigator provides exclusively data, that was verified by experts. Additionally, data about locations collected by the BVL is much more detailed.

The Czech project *Maps without barriers*[11] is similar to Wheelmap, but it provides more information about a location, i.e. the number of stairs or the width of narrowed passages. According to the page[12], data is collected and verified manually. The underlying data is about places all over the Czech republic and is published using the Open Database License (ODbL)[13]. The publication of the accessibility of locations is organized similarly to Wheelmap using the states (a) accessible, (b) partly accessible or (c) inaccessible. The Location Navigator present more detailed information about locations and provide features to filter fine-granularly, However, *Maps without barriers* is not limited to locations of only one commune.

The Great British Public Toilet Map[14] [BK12] publishes detailed information about toilets, i.e. the gender attribute. Underlying data is provided as open data and is restricted to a limited geographical area (Greater London). Besides the publication of public toilets, one superior goal of this project was to demonstrate the usefulness of open data itself. Additionally, the data is aggregated with meta information such as its data sources and credibility, which is presented to the user as well. This web services acts as a public participation and campaigning site. Despite the usage of some WIA-ARIA tags[15], the presentation of the web service could be improved in order to support people far better, that are visual impaired or blind.

The *Open Street Map*[16] [HW08] project (OSM) provide geo-related content, acquired and contributed by the crowd. After users select a place or building, OSM present information about the selection organized as tags resp. key-value pairs. For some locations accessibility information are included (i.e. *wheelchair: true*[17]). We assume, that this means the location is at least partly accessible for wheelchairs.

[9] https://wheelmap.org/map
[10] http://sozialhelden.de
[11] https://mapybezbarier.cz/en
[12] http://web.mapybezbarier.cz/en/about-project/
[13] https://opendatacommons.org/licenses/odbl/1.0/
[14] https://greatbritishpublictoiletmap.rca.ac.uk/
[15] e.g. aria-label
[16] https://www.openstreetmap.org
[17] e.g. Leipzig Opera: https://www.openstreetmap.org/way/18920139#map=19/51.34052/12.38151

3 Data generation, transformation, publication and architecture

Category	Entrance	Lift	Toilet
Education / Culture	151	59	61
Services	6	0	0
Catering trade	58	18	13
Health / Social	117	57	38
Public Administration	71	43	31
Organizations	19	11	2
Traffic	3	0	0

Tab. 1: Number of locations per category which provide full wheelchair support for entrance, lift or toilet.

In this section we present the data model and related processes. For each location a number of measures are available to describe its accessibility. Before presenting the model, general information about the locations will be shown. In Table 1 basic statistic about contained locations are listed. The BVL collected data of about 1700 public and private locations from different categories like education (e.g. schools) or public administration (e.g. city hall). Some measure are represented using hierarchical values, for instance: availability of toilets can be either

- no toilet available, or
- toilet available, and
  - *partly* accessible by wheelchairs, or
  - *fully* accessible by wheelchairs

We re-used the hierarchy in the prototype to implement a filter functionality, described in the next section.

The initial model, developed by the BVL, was inspired by the public specifications DIN 18024 [DIN98] (outdated) and 18040 [DIN10]. Data items are collected using paper forms and to keep the effort low, the number of measures are limited. All measures are either numbers or boolean values.

Figure 1 illustrates the data generation, transformation and consumption process and additionally some thoughts about future work.

The original database structure is not self-explanatory (e.g. column IDs like A10 or B24) and partially inconsistent (i.e. integrated HTML code as described in the project blog[18]).

[18] http://www.leds-projekt.de/de/aktuelles/2016/Die-Ueberfuehrung-des-BVL-Online-Stadtfuehrers-ins-CSV-Datenformat.html

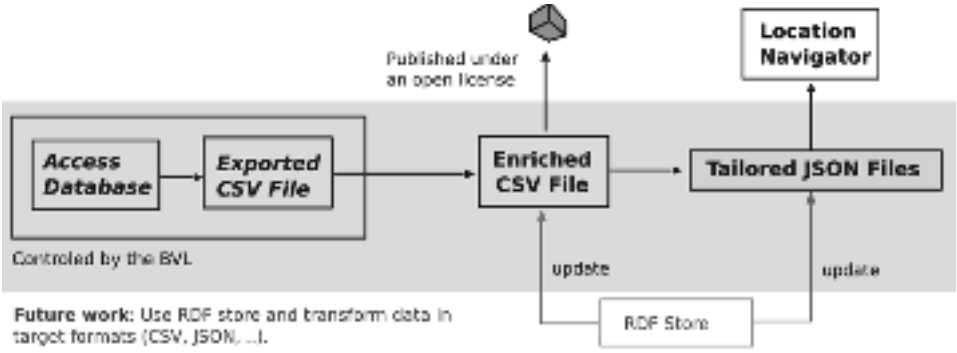


Fig. 1: Illustration of the data process (Generation, Transformation, Publication and Consumption)

To improve the quality of the database export (CSV) we scripted a use case specific converter[19], which is enriching the geo-related data items with geo-coordinates (WGS84). The resulting CSV file is published using the data license Germany[20]. The resulting CSV file was converted to JSON to prepare processing in the Location Navigator.

4 The Location Navigator

The Location Navigator is made available over the Website of the BVL[21] (cf. Figure 2). Besides functional requirements of the web service we focused additionally on the usage by people with impaired vision (screenreader support). To reach that goal we took care about the WAI-ARIA specification [Di16] and integrated further best practices such as:

- Usage of colors which are good to read (even outdoor).
- Using simple texts and short sentences without any technical terms.
- Complement texts with meaningful icons to support its understanding.
- Avoid nested menus or complex navigation structures.

Further requirements were taken into account to support mobile usage, such as (a) mobile client design and (b) localization of the user used to filter locations in the near.

[19] https://github.com/AKSW/transform-bvl-pages-to-csv-file
[20] https://github.com/AKSW/transform-bvl-pages-to-csv-file
[21] https://behindertenverband-leipzig.de/gebaeude-navigator

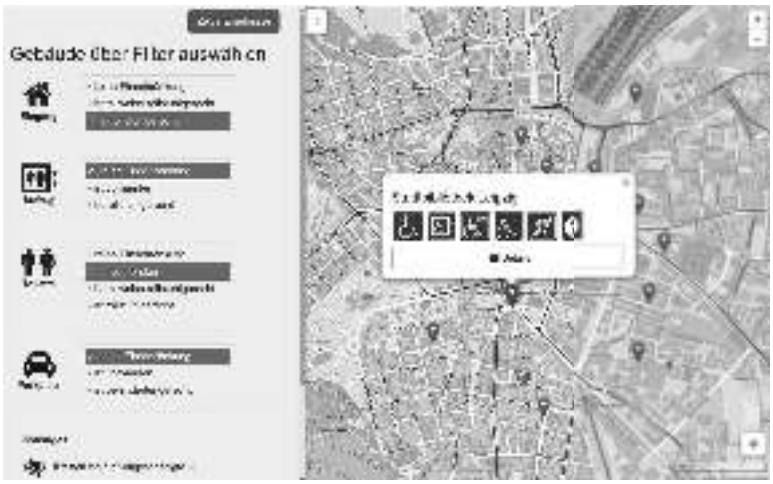


Fig. 2: Screenshot of the searchbar and the map (German version)

4.1 Version history

We implemented the Location Navigator three times. In the following, we sketch some insights about development history.

The first version[22] started as a proof of concept (POC) project, realized by a group of students from Leipzig University. Implemented with JavaScript and the front-end framework React[23], it provides major functionalities for filtering, selection and presentation of location information. Because of violating basic design principles, which would have prevented a long-term maintenance, we decided to re-implement that POC.

To prepare this reimplementation[24], we researched for a suitable architecture and best practices with React. As a result, we decided to use JavaScript with React-Redux[25] and stateless functional components. Furthermore, processed geo-coordinates were represented as RDF (managed entirely in JavaScript with JS-library *rdfstore-js*[26]), instead of processing a CSV file as in the first version. The resulting web application fulfilled most of the requirements but caused massive performance lacks while querying the In-Memory RDF Store using SPARQL. Furthermore the applied Redux data flow and the usage of functional programmed components slowed down the development and required an intermediate skill set.

[22] http://pcai042.informatik.uni-leipzig.de/~spe16/
[23] https://facebook.github.io/react/
[24] https://github.com/AKSW/building-navigator/projects/1
[25] http://redux.js.org/
[26] https://github.com/antoniogarrote/rdfstore-js

The current version[27] is implemented fully object oriented using React as described in the following subsection.

4.2 Architecture

After removing Redux, we decided to use an architecture based on the unidirectional dataflow concept and to develop three main components: (1) global stores, providing various settings (i.e. UI settings) and data, (2) the front-end components for rendering HTML output and (3) a controller unit. As illustrated in figure 3 the Location Navigator controller passes the data from the stores to the respective components. Each component can call events by using a method from the parent class, which passes the event to the EventHandler. The EventHandler decides to whom store the event will trigger an action. After completion the Location Navigator class gets the new data and passes it to the components.



Fig. 3: Architecture (Stores, LocationNavigator controller and Components), event handling and data passing

Finally, we used JavaScript with React as front-end framework and a development stack with Node.js, NPM and further NPM packages as well as Webpack and built a docker container for deployment[28]. Bootstrap[29] is used due to its extended collection of CSS styles and the low entry point for web users.

4.2.1 Filtering Locations

One important feature, depicted in figure 4 integrated in the Location Navigator, is the filter component, whereas a filter is basically a requirement (i.e. a toilet, which needs to be fully accessible for wheelchairs). As mentioned before, some filters are designed with hierarchical values. While using requirements for locations as filters more restricted values are being

[27] https://github.com/AKSW/building-navigator/projects/2
[28] https://hub.docker.com/r/k00ni/docker-nodejs-environment/
[29] https://getbootstrap.com/

included in less included values (i.e. every toilet, that is “fully accessible for wheelchaired people” have to be found if a filter is set to “partially accessible for wheelchair users”).



Fig. 4: Example view of a filter (German version)

A subsection of those filters can be set on the welcome screen (depicted at Figure 5) of the Location Navigator, which are acting as pre-set filters providing information about the type of disability.

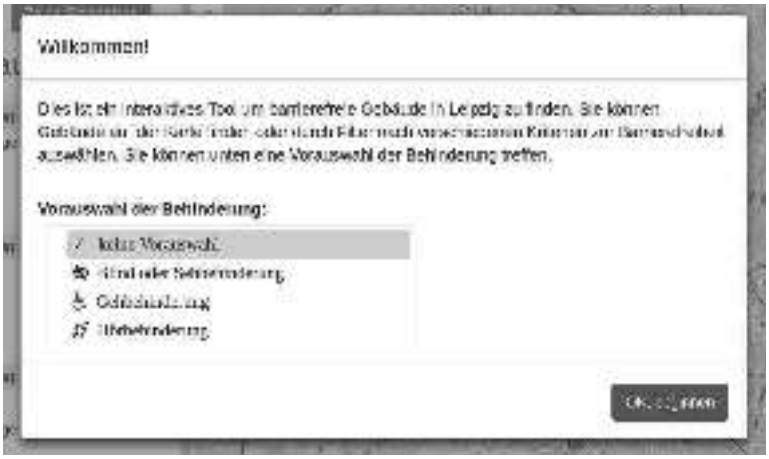


Fig. 5: View of the welcome screen (German version)

5 Conclusion and future work

We presented our intermediate project results we developed in cooperation with the Behindertenverband Leipzig e.V. (BVL). The enriched and published CSV file is suitable as a basis for the conversion to further file formats and thus for further processing within the Location Navigator. Using the described architectural design enables us to integrate the web service into other infrastructures and to adapt further data sources easily. Currently, we represent underlying data item as CSV and RDF (geo-coordinates). To enable the re-usage of all data from the BVL as part of other use cases, we prepare currently the conversion of the whole dataset to RDF and its respective publication as Linked Open Data. To realize the conversion, we will re-use existing ontologies such as (a) *the 3D building*

ontology for general descriptions of buildings and (b) *the vocabulary for (L)OD description of wheelchair accessibility*[30]. This ontology (b) provides properties, such as the elevator door width. The open publication of such data as RDF could as well be of interest for enterprises, i.e. (interactive) information provider in the tourism or real estate domain. Travel, reservation and real estate portals could consume, enrich and publish accessibility features in combination with their own information resources (i.e. entrance fully accessible by wheelchairs of a specific hotel or museum. Appropriate (international) service companies would demand regional data, which is modelled using well known vocabularies in order to integrate the data cost-effective. Hence, we refer the reader to the paper [Ch09], in which the authors outline how to enrich travel information systems using web services and RDF.

Acknowledgement

This work was partly supported by a grant from the German Federal Ministry of Education and Research (BMBF) for the LEDS Project under grant agreement No 03WKCG11C.

References

[BK12] Bichard, Jo-Anne; Knight, Gail: Improving public services through open data: public toilets. Municipal Engineer, 165(ME3):157–165, 2012.

[Ch09] Choi, Chang; Cho, Miyoung; Choi, Junho; Hwang, Myunggwon; Park, Jongan; Kim, Pankoo: Travel ontology for intelligent recommendation system. In: Modelling & Simulation, 2009. AMS'09. Third Asia International Conference on. IEEE, pp. 637–642, 2009.

[Di16] Diggs, Joanmarie; Craig, James; McCarron, Shane; Cooper, Michael: Accessible Rich Internet Applications (WAI-ARIA) 1.1. Candidate recommendation, W3C, 2016.

[DIN98] DIN 18024-1: Straßen, Plätze, Wege, öffentliche Verkehrs- und Grünanlagen sowie Spielplätze. Beuth Verlag, 1998.

[DIN10] DIN 18040-1: Barrierefreies Bauen - Planungsgrundlagen - Teil 1: Öffentlich zugängliche Gebäude. Beuth Verlag, 2010.

[DWW14] Ding, Chaohai; Wald, Mike; Wills, Gary: A survey of open accessibility data. In: Proceedings of the 11th Web for All Conference. ACM, p. 37, 2014.

[GZ11] Goetz, Marcus; Zipf, Alexander: Extending OpenStreetMap to indoor environments: bringing volunteered geographic information to the next level. Urban and Regional Data Management: Udms Annual 2011, pp. 47–58, 2011.

[HW08] Haklay, Mordechai; Weber, Patrick: Openstreetmap: User-generated street maps. IEEE Pervasive Computing, 7(4):12–18, 2008.

[30] `http://semweb.datasciencelab.be/ns/wa`

UINW 2017 – 5. Workshop Umweltinformatik zwischen Nachhaltigkeit und Wandel

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 1935

5. Workshop: Umweltinformatik zwischen Nachhaltigkeit und Wandel (UINW 2017)

Stefan Naumann[1], Kristina Voigt[2] und Eva Kern[3]

1 Eingereichte Fachbeiträge

Insgesamt wurden 10 Beiträge eingereicht und damit mehr als in den letzten Jahren, die nach eingehender Begutachtung sämtlich als für den Workshop geeignet bewertet wurden. Die Themen reichen von Beiträgen aus dem Bereich der Energie und der Wirtschaft über Fragen der Nachhaltigkeit von Software bis hin zur Verbesserung und Aufwertung von Umweltinformatikprodukten. Damit werden kontemporäre Themen der Umweltinformatik vorgestellt, die den Bezug Umwelt – Nachhaltigkeit – Mensch im digitalisierten Umfeld von verschiedenen Seiten her reflektieren. Mit dem 5. Workshop „Umweltinformatik zwischen Nachhaltigkeit und Wandel" wird somit die Brücke zwischen Informatik, Mensch und Umwelt in der digitalisierten Welt geschlagen. Aufgrund des Themenschwerpunkts „Digitale Kulturen" der INFORMATIK 2017 lag dabei ein besonderes Augenmerk auf der „Digitalisierung in der Umweltinformatik". Wie wandelt sich die „Umweltinformatik-Kultur"? Ist Nachhaltigkeit der Megatrend, der Informatikthemen aus den Umweltwissenschaften weiterentwickelt?

2 Programmkomitee

Hans-Knud Arndt, Otto-von-Guericke Universität Magdeburg; Grit Behrens, Fachhochschule Bielefeld; Peter Fischer-Stabel, Hochschule Trier, Umwelt-Campus Birkenfeld; Anna Förster, Universität Bremen; Werner Geiger, Karlsruhe Institute of Technology; Patrick Hitzelsberger, Luxembourg Institute of Science and Technology; Eva Kern, Leuphana Universität Lüneburg (Chair); Gerlinde Knetsch, Umweltbundesamt Dessau; Andreas Möller, Leuphana Universität Lüneburg; Stefan Naumann, Hochschule Trier, Umwelt-Campus Birkenfeld (Chair); Werner Pillmann, International Society for Environmental Protection; Wolf-Fritz Riekert, Stuttgart Media University; Gerald Schimak, Austrian Institute of Technology, Seibersdorf; Kristina Voigt, Helmholtz Zentrum München (Chair); Jochen Wittmann, Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin; Volker Wohlgemuth, Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin.

[1] Hochschule Trier, Umwelt-Campus Birkenfeld, Institut für Softwaresysteme, Postfach 1380, D-55761 Birkenfeld, s.naumann@umwelt-campus.de
[2] Helmholtz Zentrum München, Institute of Computational Biology, Ingolstädter Landstr. 1, 85764 Neuherberg, kvoigt@helmholtz-muenchen.de
[3] Leuphana Universität Lüneburg, Universitätsallee 1, 21335 Lüneburg, mail@nachhaltige-medien.de

doi:10.18420/in2017_193

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 1937

Ein Algorithmus für den Wiederaufbau eines Smart Grid nach einem Blackout

Hendrik Buhl[1], Tim Dombrowski[1], Erik Julian Hogen[1], Maximilian Kreutz[1], Daniel Palm[1], Sanja Stark[1], Peer Vincent Stubbe[1], Stephanie Alexandra Warsch[1], Jörg Bremer[2], Sebastian Lehnhoff[2] und Michael Sonnenschein[3]

Abstract: Im Rahmen der durch die Bundesregierung ausgerufenen Energiewende verändert sich die Struktur der Stromerzeugung von einer zentralen zu einer dezentralen, verteilten Stromproduktion. Diese bringt eine deutlich komplexere Organisation des Stromnetzes mit sich. Gleichzeitig erhalten Informations- und Kommunikationstechnik Einzug in die Stromversorgung – das Smart Grid entwickelt sich. Zwischen dem hierfür benötigten Kommunikations- und dem Stromnetz besteht jedoch eine wechselseitige Abhängigkeit. Dadurch wird das Wiederherstellen der Stromversorgung nach einem Blackout eine große Herausforderung. Als möglicher Lösungsansatz wurde ein verteiltes Verfahren entwickelt, das den automatisierten Wiederaufbau eines solchen Szenarios unterstützt. Es basiert auf einem Multi-Agenten-System, in dem durch das zyklische Bilden von Inselnetzen und den Zusammenschluss dieser Inseln der Wiederaufbau des Stromnetzes durchgeführt wird. Die prototypische Implementierung wurde in einer Simulationsumgebung getestet und mit einem empirischen Ansatz in Bezug auf seine Effektivität und Effizienz validiert. Dabei konnte gezeigt werden, dass das entwickelte Verfahren einen geeigneten Ansatz zur Lösung der gegebenen Problemstellung bietet.

Keywords: Schwarzstart; Smart Grid; Multi-Agenten-System

1 Einleitung

Durch die Förderung des Einsatzes erneuerbarer Energien zur Stromproduktion, ist eine strukturelle Veränderung der Stromversorgung zu erwarten. Die Entwicklung der Stromerzeugung von einer zentralen Produktion durch wenige große Kraftwerke, hin zu einer verteilten Erzeugung durch viele kleinere Energieanlagen, macht die Steuerung des Stromnetzes deutlich komplexer. Dies soll in Zukunft vermehrt durch Informations- und Kommunikationstechnik unterstützt werden, sodass ein sogenanntes Smart Grid entsteht [AKM12].

Der hier vorgestellte Algorithmus soll einen Ansatz bieten, um den Wiederaufbau eines von verteilter Energieerzeugung geprägten Smart Grids nach einem Blackout zu ermög-

[1] Carl von Ossietzky Universität Oldenburg, Department für Informatik, Ammerländer Heerstraße 114, 26129 Oldenburg, <vorname>.<nachname>@uni-oldenburg.de
[2] Carl von Ossietzky Universität Oldenburg, Abteilung Energieinformatik, Escherweg 2, 26121 Oldenburg, <vorname>.<nachname>@uni-oldenburg.de
[3] Carl von Ossietzky Universität Oldenburg, Abteilung Umweltinformatik, Ammerländer Heerstraße 114, 26129 Oldenburg, <vorname>.<nachname>@uni-oldenburg.de

doi:10.18420/in2017_194

lichen. Hierzu wurden zunächst deutliche Vereinfachungen sowohl in Hinblick auf die elektrotechnische Modellierung der Netze als auch auf die Modellierung der Energieanlagen vorgenommen. Der Algorithmus basiert auf einem Multi-Agenten-System und bildet ausgehend von zuvor definierten Knoten im Stromnetz Inselnetze, innerhalb derer die Stromversorgung aktiviert wird. Dies wird durch die Wirkleistungsplanung der in dem Inselnetz enthaltenen Erzeuger und Verbraucher, in Anlehnung an die Produktionsplanung eines virtuellen Kraftwerkes, ermöglicht. Durch sukzessives Erweitern und Zusammenschließen der Inselnetze wird schließlich der vollständige Wiederaufbau des gesamten Stromnetzes erreicht.

Im Folgenden wird zunächst in Kapitel 2 ein Überblick über verwandte Arbeiten gegeben. In Kapitel 3 wird das entwickelte Verfahren vorgestellt und anschließend in Kapitel 4 die Ergebnisse der Validierung des Algorithmus präsentiert. Zum Schluss wird in Kapitel 5 ein Fazit gezogen.

2 Verwandte Arbeiten

Der Wiederaufbau eines Stromnetzes nach einem Blackout gehört, neben der Frequenz- und Spannungshaltung, sowie der Betriebsführung, zu den so genannten Systemdienstleistungen, die von den deutschen Netzbetreibern erbracht werden müssen [Be07]. Die Frage danach, wie diese Systemdienstleistungen in einem Smart Grid gewährleistet werden können, ist Gegenstand aktueller Forschungsprojekte. In [Ag14] wurden verschiedene Handlungsempfehlungen für den Versorgungswiederaufbau im Jahre 2030 erarbeitet. Die Autoren kommen zu dem Schluss, dass dezentrale Energieanlagen den Versorgungswiederaufbau unterstützen können.

Das Projekt Netz:Kraft beschäftigt sich mit der Frage, wie erneuerbare Energien in den Netzwiederaufbau einbezogen werden können [Fr17]. Dafür sollen einerseits die bereits vorhandenen Konzepte zum Wiederaufbau weiterentwickelt und auf die Besonderheiten erneuerbarer Energien angepasst werden. Andererseits werden Untersuchungen darüber angestellt, ob Ausfallzeiten durch den Einsatz dezentraler Anlagen in Versorgungsinseln verkürzt werden können.

Das Projekt Kickstarter verfolgt einen etwas konkreteren Ansatz [Ki15]. Hier wird die Möglichkeit eines Netzwiederaufbaus mit Hilfe eines stationären schwarzstartfähigen Großbatteriespeichers in Kombination mit einer nicht schwarzstartfähigen Gas-und-Dampf-Anlage untersucht. Schwarzstartfähige Erzeuger können nach einem Blackout ohne externe Stromzufuhr ihren Betrieb wiederaufnehmen, wodurch sie in der Lage sind, den Wiederaufbau der Stromversorgung zu initiieren.

Becker et al. beschäftigten sich mit der Frage, inwieweit Windenergieanlagen bereits heute in der Lage sind, einen Netzwiederaufbau zu unterstützen [Be16]. Die Ergebnisse der Simulation zeigen, dass Windparks mit den heute verfügbaren Funktionen bereits unterstützend bei einem Netzwiederaufbau wirken könnten.

Der Betrieb von Inselnetzen durch verteilte Erzeuger wird unter dem Schlagwort Microgrid untersucht. Ein Microgrid wird in [MRS01] als Verbund kleinerer Erzeuger, Speichersystemen und Verbraucher, die gegenüber dem Gesamtnetz als legitimierte, unabhängige Einheit auftreten, definiert. In [MB17] wird erwartet, dass diese Microgrids eine der Schlüsselkomponenten bei der Entwicklung des Smart Grids darstellen.

Die Bildung leistungsausgeglichener Inseln kann als kombinatorisches Optimierungsproblem betrachtet werden. Zur Lösung von Optimierungsproblemen im Bereich des Energiemanagements wurden, neben zentralisierten mathematischen Verfahren [Pa04], in den letzten Jahren vermehrt naturinspirierte und verteilte Verfahren auf der Grundlage von Multiagentensystemen untersucht [So15]. Diese Verfahren eignen sich insbesondere aufgrund ihrer Robustheit gegenüber Teilausfällen und ihrer einfachen Adaptivität in Bezug auf die Integration neuer Agenten.

Als Beispiele für den Einsatz von Multiagentensystemen im Kontext von Energieversorgung seien hier die agentenbasierte Einsatzplanung virtueller Kraftwerke in [TA09] oder die Entwicklung eines verteilten Energiemanagementsystems in [LKR11] genannt. Diese Arbeiten zeigen, dass der Einsatz von Multi-Agenten-Systemen Potentiale zur Betriebsführung von Smart Grids eröffnet. Im Rahmen des Forschungsverbundes Smart Nord [HS15] wurden verschiedene Projekte zum Thema intelligente Netze durchgeführt. Zum Beispiel stellt [Ni14] einen agentenbasierten Algorithmus zu Steuerung dynamischer virtueller Kraftwerke vor.

Der hier vorgestellte Algorithmus verwendet das Verfahren COHDA [Hi14], das als Instanz eines Multiagentensystems in die Steuerung virtueller Kraftwerke integriert ist und für die prädiktive Einsatzplanung entwickelt wurde. Das Problem der Einsatzplanung besteht darin, mehrere dezentrale Erzeugungseinheiten so zu koordinieren, dass sie gemeinsam ein vorgegebenes Wirkleistungsprodukt erbringen. In [Hi14] werden die Erzeugungseinheiten durch Softwareagenten repräsentiert, die durch Nachrichtenaustausch ihr Weltwissen über die anderen in der Verhandlung befindlichen Agenten erweitern und darauf basierend ihre Leistungsauswahl treffen.

3 Algorithmus

Im Folgenden wird zunächst das der Arbeit zugrundeliegende Szenario vorgestellt. Anschließend wird der zyklische Ablauf des Verfahrens beschrieben. Für die Implementierung des Multiagentensystems in Java wurde ein einfaches Framework (MiniMAS) verwendet, das am OFFIS und an der Universität Oldenburg entwickelt wurde. Eine wichtige Grundlage des vorgestellten Algorithmus bildet außerdem eine COHDA-Implementierung in Java, die in die Software integriert wurde.

3.1 Szenariodefintion

Basis des Algorithmus bildet die stark vereinfachte Version eines Mittelspannungsnetzes, in welchem die für die Problemstellung wesentlichen Parameter in abstrahierter Form dargestellt sind. Ein Beispiel für ein solches Szenario ist in Abbildung 1 dargestellt. Die Abstraktion des Szenarios wurde in Anlehnung an das europäische Verbundnetz erstellt. Grundlegende Informationen über dessen Aufbau und Funktionsweise finden sich zum Beispiel in [CV12]. Erzeuger und Verbraucher des Netzes werden durch Knoten repräsentiert, die durch Strom- und/oder Kommunikationskanten verbunden sind. Diese Knoten werden im Folgenden auch als Akteure bezeichnet und jeder Akteur wird von einem Softwareagenten repräsentiert.

Eine notwendige Annahme ist zunächst, dass im Kommunikationsnetz während des Blackouts ein Notbetrieb aufrechterhalten werden kann, sodass in den Bereichen, in denen die Inselbildung gestartet wird, bereits eine minimale Kommunikation vorhanden ist. Bei der Modellierung des Stromnetzes wird unterschieden zwischen einem vermaschten Mittelteil, der das Mittelspannungsnetz darstellt, sowie davon abgehender strahlenförmiger Netzabschnitte, die das Niederspannungsnetz repräsentieren. Auf jeder Stromkante befindet sich ein Leistungsschalter, der bei Aktivierung der zugehörigen Knoten geschlossen werden kann.

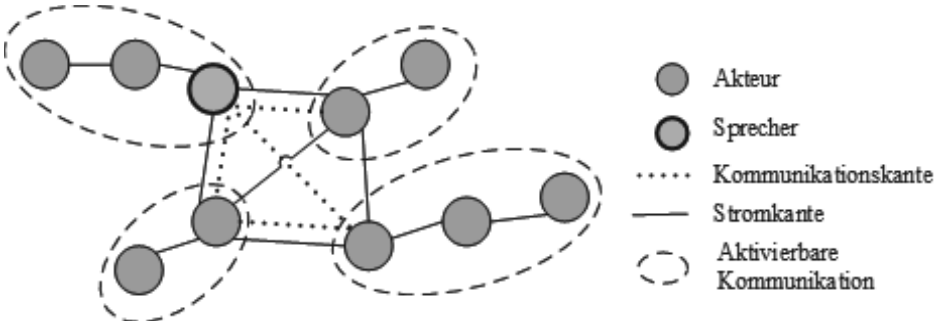


Abb. 1: Beispielhafte Darstellung des untersuchten Szenarios

Das Kommunikationsnetz besteht aus zwei Komponenten. In den oben erläuterten Mittelspannungsringen kann es von der Stromversorgung unabhängige Kommunikationskanten zwischen den Akteuren geben. Diese stellen den Notbetrieb des Kommunikationsnetzes dar. Für die Niederspannungsstränge ist eine aktivierbare Kommunikation vorgesehen. In einem Strang wird immer dann vollständige Kommunikation aktiviert, wenn der Akteur, der die Verbindung zum Mittelspannungsring darstellt, mit Strom versorgt ist.

Die durch die Netzknoten repräsentierten Erzeuger und Verbraucher können flexibel, dynamisch oder statisch ausgeprägt sein. Diese Ausprägungen unterscheiden sich darin, welche Flexibilität ein Akteur bei der Leistungsauswahl in unterschiedlichen Zeitschritten hat. Ein Zeitschritt im Algorithmus ist dabei eine abstrakte Größe, die frei festgelegt

werden kann. Die Anzahl der Zeitschritte die betrachtet wird, ist beliebig wählbar. Ein flexibler Akteur hat in jedem Schritt verschiedene Leistungswerte zur Auswahl, aus denen er frei wählen kann. Ein dynamischer Erzeuger oder Verbraucher hat eine vorgegebene Zeitreihe von Leistungswerten, die pro Zeitschritt genau eine Leistung vorgibt. Ein statischer Akteur besitzt eine Leistungsmöglichkeit, die er zeitunabhängig erzeugt oder verbraucht. Zum Testen des Algorithmus wurden zur Vereinfachung ganzzahlige Leistungswerte verwendet, die nicht explizit auf realistischen Werten von Erzeugern und Verbrauchern basieren, wobei das Verfahren nicht auf Integer-Werte beschränkt ist. Anfahrrampen sowie unterschiedliche Änderungsgeschwindigkeiten von Anlagen wurden dabei nicht betrachtet. Akteure können mit einer beliebigen ganzzahligen Priorität versehen werden, um eine Bevorzugung bei der Zuschaltung in eine Insel zu unterstützen. Als Insel wird ein elektrischer Zusammenschluss von mindestens zwei Akteuren bezeichnet. Diese muss bilanzneutral sein, also die Summe der Leistungen der in ihr enthaltenen Akteure muss zu jedem Zeitpunkt 0 ergeben.

Es wird angenommen, dass einzelne Akteure schwarzstartfähige Erzeuger sind. Sie nehmen in dem Verfahren eine besondere, treibende Rolle ein und werden daher im Folgenden als Sprecher bezeichnet. Die Verteilung der unterschiedlichen Akteure, die Anzahl der Sprecher, sowie die Leistungswerte, wurden unabhängig von den realistischen Gegebenheiten des Stromnetzes im Zuge der Validierung variiert. Dadurch konnte die grundlegende Funktionalität des Algorithmus in einem möglichst breiten Spektrum an Szenarien getestet werden. Beispiele für realitätsnähere Szenarien finden sich in [HS15]: Auf Basis vorhandener Daten über die unterschiedlichen Spannungsebenen, Durchschnittsleistungen von Anlagen, Standardlastprofilen, Netzausbauplänen und Zukunftsprojektionen wurden Evaluationsszenarien für Nord- und Süddeutschland jeweils für die Jahre 2011 und 2030 entworfen.

3.2 Zyklus

Der Algorithmus zum Wiederaufbau des Stromnetzes verläuft in einem zyklischen Ablauf, der in Abbildung 2 dargestellt ist. Die einzelnen Prozessschritte werden dabei von den Sprechern angestoßen, die vorab im zu lösenden Szenario festgelegt werden. Die übrigen Agenten des Systems sind passiv und reagieren nur auf die durch die Sprecher initiierten Aktionen. Die Agenten kommunizieren über Nachrichten miteinander.

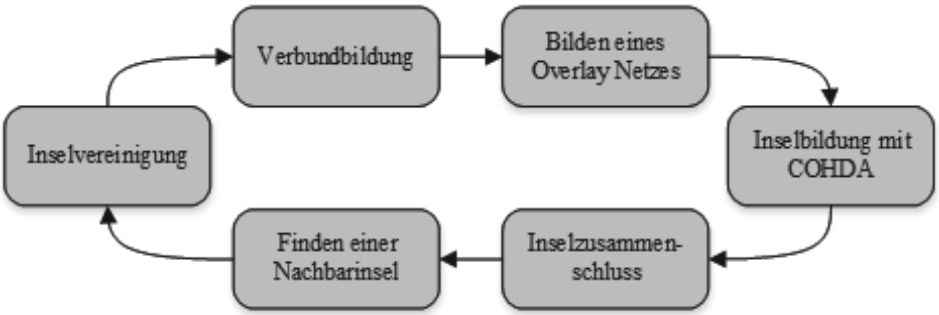


Abb. 2: Zyklischer Ablauf des Algorithmus

Der erste Prozessschritt ist die Verbundbildung. Hierfür sendet ein Sprecher Anfragen an alle benachbarten Agenten seiner Insel, zu denen sowohl eine Strom- als auch eine Kommunikationsverbindung besteht. Die angefragten Agenten antworten positiv, sofern sie sich nicht bereits in einer Insel oder in der Verbundbildung mit einer anderen Insel befinden. Anschließend erstellt der Sprecher für den entstandenen Verbund ein Overlay-Netz mit dem er festlegt, welche Verbundteilnehmer miteinander kommunizieren dürfen. Dies ist notwendig, da nur der Sprecher die Informationen besitzt, welche Agenten in dem Verbund enthalten sind.

Innerhalb dieses Verbundes wird nun die Optimierung durchgeführt. Diese basiert auf der Heuristik COHDA [Hi14], die das Lösen verteilter kombinatorischer Optimierungsprobleme ermöglicht. Das primäre Ziel ist es, eine ausgeglichene Insel zu bilden. Sekundär werden die Optimierungsziele der Inselgröße, der Sichtbarkeit und der Priorität betrachtet. Diese werden in einer gewichteten Zielfunktion zusammengefasst. Die Inselgröße bezieht sich dabei auf die Anzahl der Akteure in einer Insel und verfolgt das Ziel, möglichst große Inseln zu bilden. Die Sichtbarkeit beschreibt die Anzahl der Agenten in der Nachbarschaft einer Insel. Das dritte Optimierungsziel ist die bevorzugte Aufnahme priorisierter Agenten. Hierbei wird die Summe der Prioritäten der Agenten in einer Insel betrachtet.

Für Agenten, die sich noch nicht in einer Insel befinden, besteht die Möglichkeit sich selbst aus der geplanten Insel auszuschließen, sofern eine Lösung ohne sie der Leistungsausgeglichenheit näherkommt, als mit ihnen. Hierfür wurde das Verfahren COHDA um das Konzept einer Blacklist erweitert. Agenten, die nach der Konvergenz der Optimierung auf der Blacklist stehen, werden kein Teil der entstehenden Insel. Kommt es im Laufe der Optimierung zu einem direkten Vergleich zwischen zwei Lösungen mit gleicher Bilanz, wird die gewichtete Zielfunktion mit den sekundären Kriterien zur Bestimmung der Güte der Lösungen verwendet und die Lösung mit geringerer Güte anschließend verworfen.

Nach der Konvergenz des Optimierungsverfahrens prüft der Sprecher die gefundene Lösung. Handelt es sich um eine Lösung, bei der die Bilanz der Insel ausgeglichen ist, und wurde die vorherige Insel um mindestens einen Agenten erweitert, wird ein Inselzu-

sammenschluss durchgeführt, an dem alle nicht auf der Blacklist stehenden Agenten teilnehmen. Der Prozess des Inselzusammenschlusses beinhaltet das Schließen aller Schalter, die sich auf den Stromkanten zwischen den Agenten des Verbundes befinden, sowie die Aktivierung der in der Verhandlung ausgewählten Leistung für jeden Agenten. Die nun vergrößerte Insel fährt anschließend mit der Suche nach Nachbarinseln fort.

Wenn die Lösung ungültig war (Bilanz $\neq 0$) oder die Lösung der bereits bestehenden Insel entspricht, wird der Prozess des Inselzusammenschlusses übersprungen und direkt mit der Suche nach Nachbarinseln fortgefahren. Für die Suche nach Nachbarinseln sendet der Sprecher sequenziell Anfragen an alle Nachbarn seiner Insel, zu denen mindestens eine Strom- und eine Kommunikationskante aus seiner Insel existiert. Erst nach Erhalt der Antwort des soeben gefragten Agenten, wird der nächste Inselnachbar angefragt. Wenn er keine positive Rückmeldung erhält, wechselt er anschließend nach Abfrage aller potentiellen Nachbarn in einen Wartezustand, um seinerseits auf Inselanfragen zu warten. Eine Inselanfrage wird nur dann positiv beantwortet, wenn sich der Sprecher der angefragten Insel in eben diesem Wartezustand befindet. In diesem Fall gibt der Agent bei Erhalt einer Inselanfrage seine Sprecherrolle auf und wird zu einem normalen Agenten, während der Sprecher der anfragenden Insel seine Rolle behält und die Inselvereinigung durchführt. Anschließend wird die Suche nach Nachbarinseln in der Nachbarschaft der vereinigten Inseln wiederholt. Findet ein Sprecher keine Nachbarinseln und hat nach einer festgelegten Zeitspanne im Wartezustand auch keine Inselanfrage erhalten, beginnt der Zyklus wieder von vorne mit der Bildung eines neuen Verbundes.

Dieser Zyklus wird so lange wiederholt, bis es entweder keine Inselnachbarn mehr gibt, zu denen sowohl eine Strom- als auch eine Kommunikationskante besteht, oder bis das System stagniert, also Verhandlungen wiederholt mit dem gleichen Ergebnis enden, ohne dass es zu einer Vergrößerung der Inseln kommt.

4 Effektivität und Effizienz des Verfahrens

Kernpunkt der Bewertung der Effektivität bilden der erfolgreiche Wiederaufbau der Stromversorgung und die Erfüllung der beschriebenen Optimierungsziele. Der Wiederaufbau des Stromnetzes gilt als erfolgreich durchgeführt, wenn sich alle Agenten eines Szenarios, die ans Netz angeschlossen werden können, in einem Inselnetz befinden. Die Erfüllung dieser Anforderung wurde in der Testphase geprüft. Dafür wurden zunächst, ausgehend von den Parametern, durch die ein Szenario beschrieben werden kann, Äquivalenzklassen gebildet. Diese sind in Tabelle 1 aufgeführt. Diese Parameter wurden zu Testfällen kombiniert, die sowohl alle Äquivalenzklassen, als auch alle Kombinationen aus jeweils zwei Äquivalenzklassen abdecken. Auf Basis dieser Testfälle wurden anschließend die Testszenarien entwickelt, die so gestaltet wurden, dass es immer mindestens eine gültige Lösung für den Wiederaufbau gab. Beim Ausführen dieser Szenarien konnte gezeigt werden, dass in allen Fällen das Stromnetz erfolgreich wiederaufgebaut werden konnte, wodurch die Effektivität des Verfahrens bestätigt wurde.

Parameter	Äquivalenzklassen
Anzahl der Agenten	1 - 40; 41 – 100
Anzahl der Mittelspannungsringe	1; >1
Anteil der Sprecher	1; 50%
Anteil der flexiblen Anlagen	1-15%; 16-50%; 51-85%
Anteil der Agenten im MS-Netz	1-25%; 26-50%
Kommunikations-Shortcuts im Niederspannungsnetz	0; >0
Vermaschung des Mittelspannungsrings	0%; 10-60%
Verzweigung der Stränge im Niederspannungsnetz	vorhanden; nicht vorhanden
Anzahl an Kommunikationskanten im Mittelspannungsring	weniger als Stromkanten; gleich viele wie Stromkanten; mehr als Stromkanten

Tab. 1: Auflistung der Äquivalenzklassen der Eingabeparameter des Systems

Um die Effektivität der Zielfunktionen zu untersuchen, wurde ein spezielles Testszenario entworfen, das in Abbildung 3 zu sehen ist. Dieses Szenario repräsentiert in einem Minimalbeispiel den Fall, dass nicht alle Akteure innerhalb einer Verhandlung in eine Insel aufgenommen werden können, sodass mit Hilfe der gewichteten Zielfunktion eine Auswahl aus den möglichen Lösungen getroffen werden muss. Durch seinen Aufbau bietet das Szenario genau drei Lösungswege, die jeweils durch ein anderes Optimierungsziel angesprochen werden. Ein Lösungsweg beschreibt dabei die Reihenfolge der Zuschaltung der Agenten in die zu bildende Insel. Die verschiedenen Lösungswege unterscheiden sich dabei dadurch, dass im ersten Schritt jeweils andere Agenten in die Insel aufgenommen werden. Der erste Schritt des Wiederaufbaus jedes Lösungsweges ist in Abbildung 3 durch eine farbliche Hinterlegung gekennzeichnet. Der Algorithmus wurde mit unterschiedlichen Gewichtungen der Zielfunktion auf diesem Szenario ausgeführt. Zusätzlich zu den Gewichtungen wurde die Höhe der Priorisierung des als priorisiert markierten Knotens variiert.

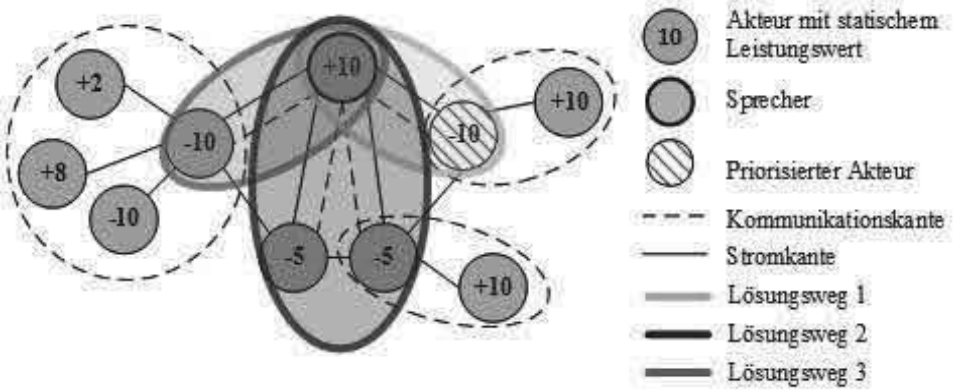


Abb. 3: Testszenario für die gewichtete Zielfunktion

Das primäre Ziel der ausgeglichenen Inselbilanz bildet die Grundlage des Verfahrens, da sich nur dann ein Inselzusammenschluss aus einer gefundenen Lösung bilden kann, wenn in jedem betrachteten Zeitschritt die Bilanz = 0 beträgt. Bereits durch die Tests für die Bewertung der Effizienz konnte gezeigt werden, dass durch das Optimierungsverfahren Lösungen mit einer ausgeglichenen Bilanz gefunden werden können, sofern diese existieren. Bei der Betrachtung der sekundären Optimierungsziele konnte gezeigt werden, dass die Gewichtung einen eindeutigen Einfluss auf den Aufbau des Netzes hat. In Tabelle 2 sind die Ergebnisse der verschiedenen Gewichtungen in Kombination mit der Höhe der Priorisierung des priorisierten Knotens dargestellt. Es ist zu sehen, dass durch die unterschiedliche Gewichtung der Zielfunktion jeweils ein anderer Lösungsweg gewählt wurden. Es zeigte sich auch, dass eine vergleichsweise hohe Priorisierung die anderen Ziele trotz bevorzugter Gewichtung außer Kraft setzen kann. Dadurch ist es möglich, beispielsweise die Inselgröße mit hoher Gewichtung zu bewerten, gleichzeitig aber durch hohe Prioritäten sicherzustellen, dass bestimmte Knoten dennoch bevorzugt in eine Insel aufgenommen werden.

Sichtbarkeit	Inselgröße	Priorität	Höhe der Priorität	Lösungsweg
0	0	1	2 | 5 | 10	1 | 1 | 1
0,2	0,2	0,6	2 | 5 | 10	1 | 1 | 1
0	1	0	2 | 5 | 10	2 | 2 | 2
0,2	0,6	0,2	2 | 5 | 10	2 | 1 | 1
1	0	0	2 | 5 | 10	3 | 3 | 3
0,6	0,2	0,2	2 | 5 | 10	3 | 2 | 1

Tab. 2: Ergebnisse Tests Effektivität nach Gewichtung

Zur Bewertung der Effizienz wurde der Algorithmus mit verschiedenen Szenarien durchgeführt, in denen jeweils unterschiedliche Eingabeparameter in unterschiedlichen Skalierungsstufen repräsentiert waren. Alle Szenarien entsprachen den in Abschnitt 3.1 beschriebenen Vorgaben. Die Eingabeparameter, sowie ihre jeweiligen Skalierungsstufen, sind in Tabelle 3 zu sehen. Um den Einfluss der anderen Szenarioparameter jeweils möglichst gering zu halten, wurde als Grundlage ein Standardnetz verwendet, in dem nur der jeweils zu betrachtende Parameter in seinen Skalierungsstufen angepasst wurde. Dieses Standardnetz besteht aus einem Mittelspannungsring mit angeschlossen Niederspannungssträngen und beinhaltet in seiner Grundausprägung 40 Agenten.

Eingabeparameter	Skalierungsstufen
Anzahl Agenten in den Niederspannungssträngen	0, 1, 5, 10, 20
Anzahl der zusammengeschlossenen Standardnetze	1, 2, 4, 9, 16
Anzahl der Sprecher	1 – 16
Anteil der flexiblen Agenten	1%, 15%, 50%, 85%
Anzahl der Shortcuts im Mittelspannungsring	0, 1, 4, 8, 50, 105

Tab. 3: Eingabeparameter für die Bewertung der Effizienz

Als Bewertungsgrundlage für die Validierung wurden, neben diversen anderen Kenngrößen, die Anzahl der Verhandlungen sowie die Anzahl der Nachrichten erfasst, die zum Wiederaufbau des Szenarios benötigt wurden. Dabei wurde deutlich, dass die Anzahl der Nachrichten maßgeblich durch den Prozess der Inselbildung mit COHDA bestimmt wird, während die Kommunikation außerhalb dieser Verhandlungen vernachlässigt werden kann.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Anzahl der Nachrichten mit der Anzahl der Agenten stark ansteigt. Dabei wurden deutliche Unterschiede festgestellt, je nachdem, auf welche Art die Anzahl der Agenten erhöht wurde. Zum einen wurde in dem verwendeten Standardnetz die Anzahl der Agenten in den Niederspannungssträngen erhöht. Zum anderen wurde die Anzahl der Agenten durch die Anzahl aneinander geschlossener Standardnetze skaliert. Die Ergebnisse sind in Abbildung 4 dargestellt. Die Nachrichtenanzahl wird dabei insbesondere von der Anzahl der Kommunikationskanten bestimmt. Dies wurde besonders durch die Skalierung der Anzahl der Agenten in den Niederspannungssträngen deutlich, da es sich in diesen Strängen um ein vollständig vermaschtes Kommunikationsnetz handelt. Um das Nachrichtenaufkommen zu verringern, würde es sich anbieten, bei der Erstellung des Overlaynetzes durch den Sprecher die Kommunikationsmöglichkeiten an dieser Stelle einzuschränken.

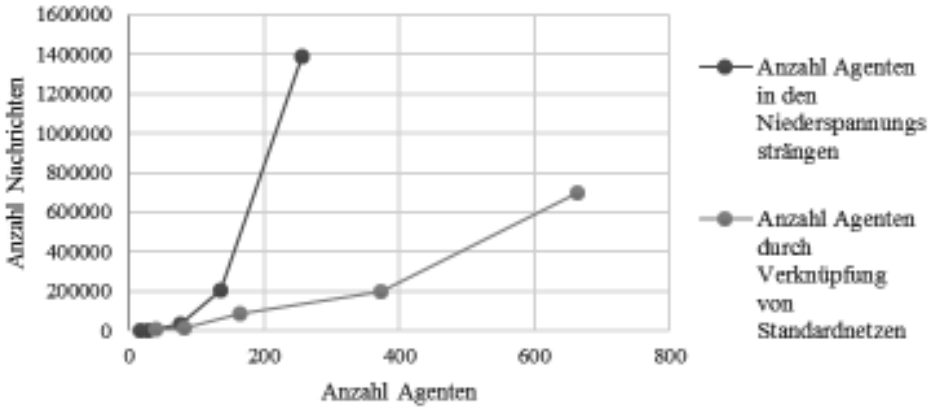


Abb. 4: Anzahl der Agenten und Anzahl der Nachrichten

5 Zusammenfassung und Ausblick

Ziel dieser Arbeit war es, die grundlegende Funktionalität für ein Multi-Agenten-System zu entwickeln, durch die die Stromversorgung in einem Smart Grid nach einem Blackout wiederaufgebaut werden kann. Für den Entwurf des Systems wurde zunächst ein vereinfachtes Szenario erstellt, das grundlegende Eigenschaften des Stromnetzes, wie verschiedene Erzeuger und Verbraucher, verschiedene Kommunikationstechniken sowie

verschiedene Topologien, in abstrahierter Form abbildet. Anschließend wurde, auf Basis dieses Szenarios ein Algorithmus entworfen, der, ausgehend von zuvor definierten Sprecheragenten für schwarzstartfähige Anlagen, mit dem Aufbau des Stromnetzes beginnt. Hierfür wird wiederholt ein Zyklus aus Verbundbildung, Verhandlung, Inselzusammenschluss, Suche nach Nachbarinseln und Inselvereinigung durchlaufen. Für die Verhandlung wurde die Lösungsheuristik COHDA verwendet.

Die Validierung des Algorithmus zeigte, dass der Algorithmus funktional eine gute Grundlage bietet, jedoch insbesondere in Bezug auf den Nachrichtenaufwand noch verbessert werden kann. Hierfür konnten durch die Validierung bereits gute Ansatzpunkte ermittelt werden.

Weitere Fortschritte und Erkenntnisgewinne sind außerdem durch eine Erweiterung der Simulation zu erwarten. Als mögliche Potenziale sind hierbei die Einbindung in ein Simulationsframework, eine realitätsnähere Abbildung der Energieanlagen und des Kommunikationsnetzes, sowie die Integration einer Netzsimulation zu nennen. Dadurch könnte das Verhalten des Algorithmus bei realistischeren und komplexeren Szenarien untersucht werden.

Die Möglichkeit bereits geschlossene Leistungsschalter wieder zu öffnen, also Agenten den Austritt aus einer Insel zu ermöglichen, würde einen größeren Spielraum zur Findung von Lösungen ermöglichen. Darüber hinaus bietet eine Überprüfung und Erweiterung der Zielfunktion sowie eine Optimierung der Gewichte für spezifische Netzsituationen weitere Potenziale.

Die Grenzen des Algorithmus werden insbesondere bei der Kommunikation deutlich. Das Verfahren basiert auf der Grundannahme, dass alle versendeten Nachrichten zu einem zuvor bekannten Zeitpunkt ankommen. Daher gibt es keine Mechanismen zum Umgang mit verzögerten oder verlorenen Nachrichten.

Literaturverzeichnis

[Ag14] Agricola, A.-C., et al.: dena-Studie Systemdienstleistungen 2030: Voraussetzungen für eine sichere und zuverlässige Stromversorgung mit hohem Anteil erneuerbarer Energien. Berlin, 2014. https://shop.dena.de/fileadmin/denashop/media/Downloads_Dateien/esd/9094_dena-Studie_Systemdienstleistungen_2030.pdf, Stand 06.06.2017.

[AKM12] Appelrath, H.-J.; Kagermann, H.; Mayer, C. (Hrsg.): Future Energy Grid: Migrationspfade ins Internet der Energie. Springer, Berlin u.a., 2012.

[Be07] Berndt, H. et al.: Transmission Code 2007 – Netz- und Systemregeln der deutschen Übertragungsnetzbetreiber. Berlin, 2007. https://www.bdew.de/internet.nsf/id/A2A0475F2FAE8F44C12578300047C92F/$file/TransmissionCode2007.pdf, Stand 06.06.2017.

[Be16] Becker, H. et al.: Netzwiederaufbaukonzepte: Mögliches Zusammenspiel zwischen Windenergieanlagen und thermischen Kraftwerken. In: VGB Powertech Journal. Jgg. 10, S. 57–62, 2016.

[CV12] Crastan, V.: Elektrische Energieversorgung 1. Netzelemente, Modellierung, stationäres Verhalten, Bemessung, Schalt- und Schutztechnik. 3. Aufl., Heidelberg u.a: Springer, 2012.

[Fr17] Fraunhofer IWES, Netz:Kraft: Netzwiederaufbau mit zukünftigen Kraftwerkstrukturen, http://forschung-stromnetze.info/projekte/netzwiederaufbau-mitzukuenftigen/kraftwerkstrukturen/, Stand 02.05.2017.

[Hi14] Hinrichs, C.: Selbstorganisierte Einsatzplanung dezentraler Akteure im Smart Grid. Dissertation, Carl von Ossietzky Universität Oldenburg, 2014.

[HS15] Hofmann, L.(Hrsg.); Sonnenschein, M. (Hrsg.): Smart Nord: Final Report. http://smartnord.de/downloads/SmartNordFinalReport.pdf, Hannover, 2015.

[Ki15] Kickstarter: Blackout ohne Folgen: Das Netz mit dezentralen Anlagen starten. http://forschung-stromnetze.info/projekte/blackout-ohne-folgen-dasnetz-mit-dezentralen-anlagen-starten/, Stand 03.05.2017.

[LKR11] Lehnhoff, S.; Krause, O.; Rehtanz, C.: Dezentrales autonomes Energiemanagement. In: Automatisierungstechnik: Methoden und Anwendungen der Steuerungs-, Regelungs- und Informationstechnik. Jgg. 59, S. 167–179, 2011.

[MB17] Mumtaz, F.; Bayram, I.: Planning, Operation, and Protection of Microgrids: An Overview. In: Energy Procedia. Jgg. 107, S. 94–100, 2017.

[MRS01] Marnay, C.; Robio, F. J.; Siddiqui, A. S.: Shape of the microgrid. In: Power Engineering Society Winter Meeting. Jgg. 1, S. 150–153, 2001.

[Ni14] Nieße, A.; Beer, S.; Bremer, J.; Hinrichs, C.; Lünsdorf, O.; Sonnenschein, M.: Conjoint dynamic aggregation and scheduling methods for dynamic virtual power plants. In: Federated Conference on Computer Science and Information Systems. IEEE, Piscataway, NJ, S. 1505–1514, 2014.

[Pa04] Padhy, N. P.: Unit commitment - a bibliographical survey. IEEE Trans. on Power Systems,19(2):1196–1205, 2004.

[So15] Sonnenschein, M.; Vogel, U.; Hinrichs, C.: From ecological modeling to decentralized optimization of smart power grids. In: (Cunningham, D; et al., Hrsg.): Informatik 2015. GI-Edition - Lecture Notes in Informatics (LNI), Vol. 246, Bonner Köllen Verlag, S. 385-396, 2015.

[TA09] Tröschel, M.; Appelrath, H-J.: Towards reactive scheduling for large-scale virtual power plants. In: Multiagent system technologies. Springer, Berlin, S. 141–152, 2009.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 1949

Visualisierung von 3D-Objekten mit automatischer Lokalisierung von Wärmebrücken in der Gebäudeaußenhülle

Klaus Schlender[1], Oleg Abele[2] und Grit Behrens[3]

Abstract: Die vorliegende Arbeit hilft beim Verwirklichen der Klimaschutzziele unserer Bundesregierung und trägt dazu bei, sanierungsbedürftige Gebäuden zu erkennen. Hierzu werden zunächst Luftbildaufnahmen als Wärme- und Echtbilder eines Gebäudes von einem Thermokopter erstellt, auf denen dann nachfolgend mittels eines Erkennungsalgorithmus die Wärmebrücken visualisiert werden. Die erfassten Wärmebrücken kennzeichnen potenziell sanierungsbedürftige Schwachstellen in Außenfassaden. Die Luftbildaufnahmen werden mittels Image-Based Rendering Software in 3D-Modelle verarbeitet, die in einer WebGL 3D-Landschaft dargestellt und begutachtet werden können.

Keywords: Klimaschutz, Sanierung, Energiebedarf, Gebäude, 3D-Thermokopter, Wärmebrücken, 3D-Rekonstruktion, Visualisierung, WebGL, Image-Based, Rendering

1 Einleitung

Die Bundesregierung hat sich ambitionierte Klimaschutzziele gesetzt: Bis 2020 soll der Treibhausgasausstoß um 40 Prozent unter den Stand von 1990 sinken. Der Gebäudebereich ist dabei von besonderer Bedeutung, da dieser in der EU und in Deutschland mit jeweils rund 40 Prozent des Endenergiebedarfs den größten Verbrauchssektor darstellt. Die hier beschriebenen Arbeiten sind mit unseren Partnern aus dem Sanierungsmanagement der Bielefelder Sennestadt abgestimmt worden [En17]. Die Einwohner der stark sanierungsbedürftigen Bestandsbauten in der Sennestadt sollen durch eine Visualisierung von Wärmebrücken in ihren Wohngebäudefassaden auf die Notwendigkeit einer Sanierung aufmerksam gemacht werden.

[1] FH Bielefeld University of Applied Science, FB Technik, Artilleriestraße 9, 32427 Minden, klaus.schlender@fh-bielefeld.de
[2] FH Bielefeld University of Applied Science, FB Technik, Artilleriestraße 9, 32427 Minden, oleg.abele@fh-bielefeld.de
[3] FH Bielefeld University of Applied Science, FB Technik, Artilleriestraße 9, 32427 Minden, grit.behrens@fh-bielefeld.de

doi:10.18420/in2017_195

2 Ziel der Arbeit

In diesem Projekt wurde ein Thermokopter entwickelt, der 3D-Modelle von Gebäuden der sanierungsbedürftigen Sennestadt darstellt. Der Kopter ist eine UAV-Eigenentwicklung mit vier Rotorblättern und Navigationssystem, die mit einer Tageslicht- und einer Thermographiekamera ausgerüstet ist. Beim Abfliegen der Fassaden kommen beide Kameras abgestimmt zum Einsatz, so dass aus dem gewonnenen Bildmaterial gleichzeitig 3D-Modelle als Tageslicht- und als Wärmemodell erzeugt werden können.

Es wurde weiterhin ein Algorithmus entwickelt, der die Wärmebrücken im Bildmaterial automatisch lokalisiert. Wichtiges Projektziel war eine leicht verständliche und überzeugende Darstellung der Analyseergebnisse. Dazu wurde ein hybrider Ansatz gewählt, der die Energielecks der Außenwände durch die thermographisch farblich dargestellten Wärmebrücken in das Tageslicht-3D-Modell der Gebäude sehr anschaulich integriert.

Es wurde weiterhin eine Webapplikation erstellt, die die Aufnahme, die Speicherung und die Visualisierung des Datenmaterials realisiert.

3 Herangehensweise

3.1 Lokalisierung von Wärmebrücken in Gebäudeaußenhüllen

Wärmebrücken in Gebäudeaußenwänden kann man in Thermographie-Aufnahmen erkennen. Die Thermokamera speichert die jeweilige Temperatur in der Einheit Grad Celsius pro Pixel in einer Auflösung von 640 x 480 ab. Für die Darstellung werden den Temperaturen skalierte Farbpaletten oder auch Grauwert-Bilder zugeordnet.

Wärmebrücken sind durch zusammenhängende Regionen von Pixeln charakterisiert, die eine höhere Temperatur aufweisen, als die mittlere Temperatur der Fassade. Einen entscheidenden Einfluss auf die Güte der Analyseergebnisse hat ein gut funktionierender Algorithmus zur Bestimmung des jeweiligen Schwellwertes, der die Temperaturdifferenz der Wärmebrücken zur mittleren Fassadentemperatur bestimmt.

3.1.1 Schwellwert und seine Abhängigkeiten

Zur Ermittlung des Schwellwertes wird ein Grauwertbild erstellt, welches höhere Temperaturen den helleren Grauwerten und niedrigere Temperaturen den dunkleren Grauwerten zuordnet. Der Schwellwert wird für jede Aufnahme dynamisch bestimmt und hängt sehr stark von der jeweiligen Beschaffenheit der Thermografie-Aufnahme ab.

Die Schwellwertanalyse wurde anhand vieler verschiedener Thermografieaufnahmen von Gebäudefassaden mit und ohne Wärmebrücken manuell parametrisiert. Die folgenden drei

Abhängigkeiten wurden dabei beobachtet:

1. Der Schwellwert hängt stark von dem Größenverhältnis der dunklen Bereiche zu den hellen ab. Ist das gesamte Bild sehr hell, da z. B. eine Außenwand eines Gebäudes sehr nah aufgenommen wurde, befindet sich der Schwellwert sehr weit unten. Entgegengesetzt gilt bei im Mittel sehr dunklen (kalten) Bildern, dass der Schwellwert bereits sehr hoch beginnt.
2. Die allgemeine Balance des Bildes hat Einfluss auf den Schwellwert. Wenn sehr starke Sprünge in dem Bild vorhanden sind und der Unterschied zwischen dunklen und hellen Bereichen stärker ausfällt, wird der Schwellwert in der Regel in die Höhe getrieben.
3. Außerdem spielt die Diversität der abgebildeten Helligkeiten, also die Spanne der abgebildeten Temperaturen, eine Rolle. Ist diese Spanne sehr groß, so sinkt auch der Schwellwert; ist die Spanne sehr gering steigt er.

3.1.2 Histogramm

Mithilfe eines Histogramms kann die Verteilung der Helligkeiten innerhalb eines Bildes abgebildet werden. Ein Histogramm ist somit, unter Berücksichtigung der Abhängigkeiten aus 3.1.1, für die Analyse einer Thermografie-Aufnahme unabdingbar. Darüber hinaus hat der Einsatz eines Histogramms große Vorteile für die Laufzeit des Algorithmus. So ist z. B. die Berechnung des durchschnittlichen Grauwertes einer Thermografie-Aufnahme mithilfe einer vorangegangenen Histogrammberechnung in konstanter Zeit durchführbar.

Neben den bereits erwähnten Abhängigkeiten aus 3.1.1 haben sich während der Analyse weitere indirekte Abhängigkeiten ergeben, die das Ergebnis stabilisieren. Hierzu zählt die durchschnittliche Abweichung ausgewählter Schlüsselkriterien vom bereits erwähnten durchschnittlichen Grauwert. Zu den Schlüsselkriterien gehören unter anderem der größte Farbunterschied sowie die durchschnittliche Steigung der Farbkurve.

Die für die Berechnung wichtigste Gesetzmäßigkeit ist jedoch, dass Wärmebrücken sich immer oberhalb des durchschnittlichen Grau-Wertes befinden und somit alle Graustufen unterhalb des durchschnittlichen Grau-Wertes ignoriert werden können, um das Ergebnis nicht unnötig zu verfälschen.

3.1.3 Histogramm Analyse

Mithilfe des Histogramms [Ka13] können die für die Abhängigkeiten aus 3.1.1 und 3.1.2 wichtigen Schlüsselkriterien errechnet werden. Diese sind:

- *max*: Der größte vorkommende Grauwert
- *avg*: Der durchschnittliche Grauwert des gesamten Bildes

- *pC*: Anzahl der Pixel des Bildes
- *pCRAVG*: Pixelanzahl rechts vom durchschnittlichen Grauwert

Mithilfe der nachfolgenden Formel kann nun eine Pixelanzahl (PA) berechnet werden.

$$(pC / 100) * ((pC / pCRAVG + pC / pC – pCRAVG) / 2) \quad (1)$$

Die errechnete Pixelanzahl spiegelt den gesuchten Schwellwert wieder. Um jedoch den genauen Farbwert zu erhalten, muss die Pixelanzahl ausgehend von *max* solange aufsummiert werden, bis die errechnete Pixelanzahl erreicht ist. Der resultierende Farbwert ist der gesuchte Schwellwert. In Abb. 1 ist ein Beispielhistogramm mit eingezeichnetem Durchschnittswert (blau) und dem errechneten Wärmebrücken-Bereich (rot) zu sehen.



Abb. 1: Beispiel Histogramm mit Durchschnittswert und Wärmebrücken-Bereich[4]

3.1.4 Visuelle Darstellung

Mithilfe des Graustufen-Bildes und des berechneten Schwellenwertes ist es nun möglich, die Wärmebrücken zu extrahieren. Hierfür werden alle Pixel schwarz eingefärbt, die unterhalb des Schwellenwertes liegen. Da die Wärmebrücken auf der originalen Thermografie-Aufnahme eingekreist werden sollen, bietet sich der Einsatz des Canny-Edges Algorithmus [Bi09],[Ra11] an. Dieser extrahiert Kanten an Farbübergängen. Beim halb verarbeiteten Bild bildet der Canny-Edges Algorithmus genau die Umrandung der Wärmebrücken ab. Diese Umrandungen können nun auf das Originalbild übertragen und passend eingefärbt werden (z. B. schwarz). In Abb. 2 ist eine solche Visualisierung zusehen.

[4] Eigene Darstellung

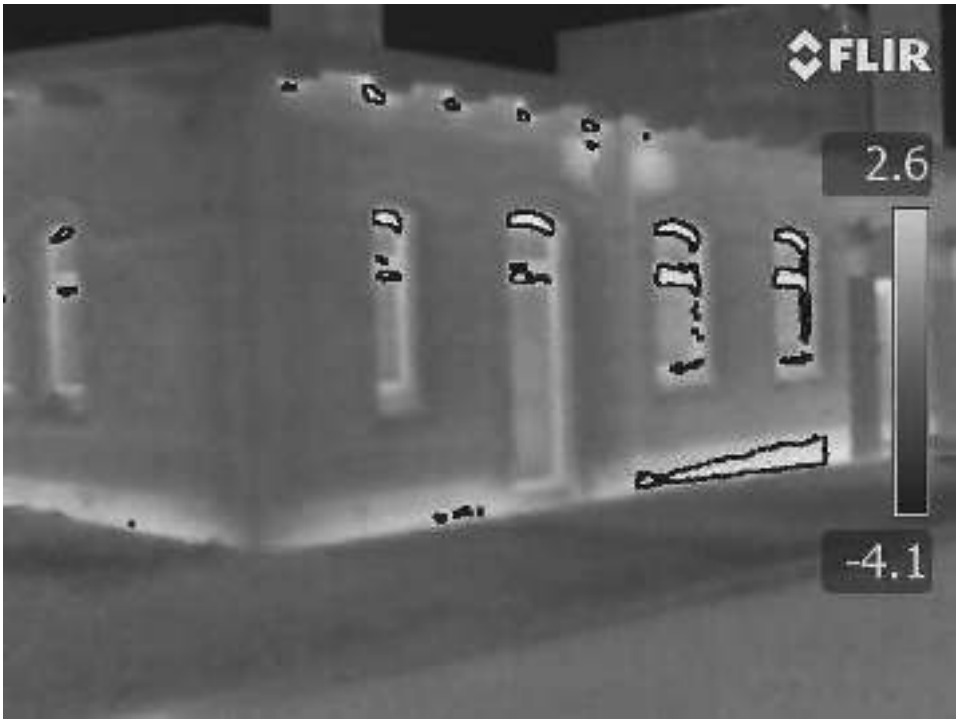


Abb. 2: Themografie-Aufnahme mit automatisch lokalisierten und visualisierten Wärmebrücken[5]

In Abb. 3 ist die hybride Visualisierungs-Variante zu sehen. Hierbei werden die Grauwerte der Wärmebrücken neu eingefärbt und auf der Echtbild-Aufnahme abgebildet. Dies hat den Vorteil, dass der Ort der Wärmebrücke am echten Objekt besser bestimmt werden kann, weil keine Details verloren gehen.

[5] Eigene Darstellung



Abb. 3: Hybride Visualisierung von automatisch lokalisierten Wärmebrücken auf einer Echtbild-Aufnahme[6]

3.1.5 Wärmebrückenerkennung

Für die in 3.1.3 und 3.1.4 beschriebene Vorgehensweise eignet sich der Einsatz der OpenCV Bibliothek. Die beschriebenen Funktionalitäten, die für die Lokalisierung von Wärmebrücken benötigt werden, sind in großen Teilen bereits in der OpenCV Bibliothek enthalten. So ist die Erstellung eines Histogramms und die Ausführung des Canny-Edge Algorithmus mit wenigen Aufrufen erledigt. [Ga08]

[6] Eigene Darstellung

Die gesamte Prozedur sieht wie folgt aus:

```
public Mat process(Mat source){
    Mat gray = util.ToGray(source);
    Mat histogram = getHistogram(gray);
    AnalyzeResult res = analyze(histogram);
    Mat edges = findEdges(gray, res);
    return edges;
}
```

3.2 3D-Mesh-Daten aus Thermografie- und Tageslichtaufnahmen

Fotobasiertes 3D-Scannen ist in seiner Anwendung ein Teilgebiet der Fotogrammetrie. Aus einer großen Anzahl von Bildern wird die dreidimensionale Form eines Objektes bestimmt [Pa96],[Le06]. Die Bilder werden auf ihre Schärfebereiche hin analysiert und anschließend werden Punkte auf mehreren Bildern gefunden, die in einen räumlichen Bezug zueinander gebracht werden. Daraus ergibt sich eine 3D-Punktwolke bzw. eine räumliche Repräsentation vieler gefundener Bilddetails, die als Basis zur Formberechnung des 3D-Modells dient.

Der Oberbegriff der Techniken wird in der Informatik Image-Based Rendering [Sh07],[Zh12] (IBR) genannt und kommt in spezialisierter Software, wie Agisoft Photoscan, Autodesk 123D und Autodesk ReMake zum Einsatz. Mit den Techniken von IBR wird aus 2D-Bildern einer realen Szene ein 3D-Modell erzeugt, indem neue Blickpunkte auf das Modell gerendert werden. Hierbei kann das 3D-Modell texturiert und als konventionelle 3D-Szene repräsentiert werden.

Als Grundlage zur Erstellung des 3D-Modells dienen Fotografieaufnahmen, die mit aufeinander abgestimmten Kameras erstellt werden (s. Abb. 4). Die erzeugten Echtbildaufnahmen werden zunächst aufeinander ausgerichtet und dann zur Berechnung einer dichten Punktwolke verwendet.

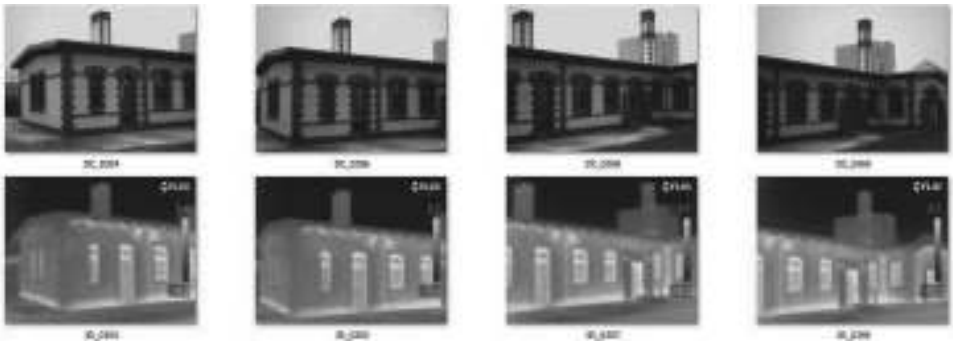


Abb. 4: 2D-Bilder einer realen Szene: Echt- und Wärmebildaufnahmen[7]

Die Punktwolke dient als Grundlage zur Berechnung eines Mesh'es bzw. Models, auf dessen Basis ein texturiertes 3D-Modell erzeugt wird (siehe auch Abb. 5). Dabei werden zunächst, von links nach rechts gesehen, Echtbildaufnahmen, dann Wärmebildaufnahmen verwendet. Ähnliches geschieht bei den aus Kapitel 3.1 behandelten berechneten Aufnahmen. In der zweiten Reihe sind von links nach rechts 3D-Modelle, Wärmebilder und Hybridbilder zu sehen. Die mit dem Verfahren erzeugten 3D-Modelle bilden eine anschauliche Darstellung von Gebäudefassaden und können in einer 3D-Szene verwendet werden.

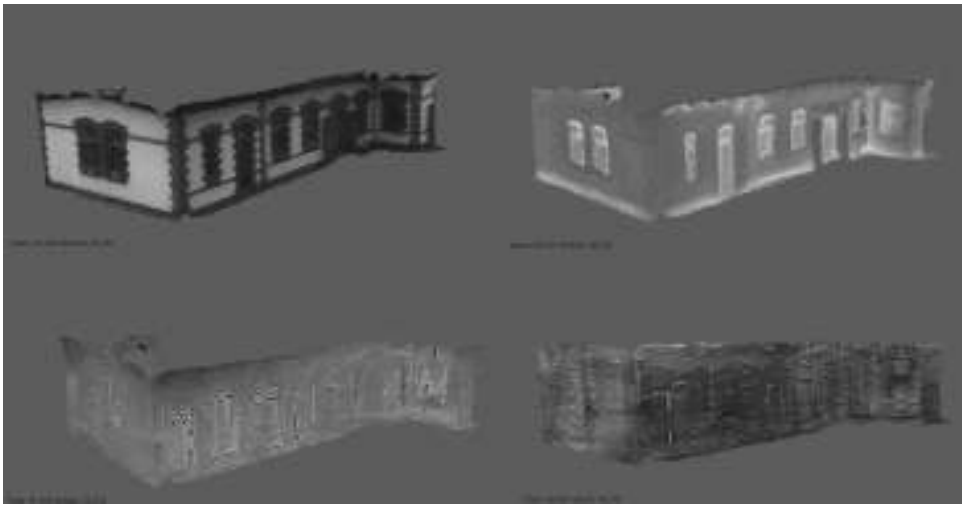


Abb. 5: 3D-Modelle einer konventionellen Szene: Echt- und Wärmebildmodelle[8]

[7] Eigene Darstellung
[8] Eigene Darstellung

3.3 Visualisierung von 3D-Modellen

Zur webbasierten Visualisierung bzw. zum Rendern von 3D-Modellen bedarf es einer im Webbrowser lauffähigen 3D-Szene. In der Szene bzw. 3D-Umgebung werden die zuvor erstellten Modelle präsentiert. Als Webtechnologien fanden im Entwicklungsprozess neben HTML5, CSS, JavaScript, JSON auch die beiden WebGL-basierten Frameworks Three.js und Blend4Web ihren Einsatz.

3.3.1 3D Rekonstruktion in Blender und Blend4web

Um für den Betrachter eine ansprechende und überschaubare Szene zu erschaffen, bedarf es neben den aufbereiteten 3D-Modellen und einer Landschaft, auch verschiedener zugänglicher Blickwinkel, die übersichtlich navigiert werden können. Dabei kann es notwendig sein, auf komplexe Ergänzungen, Materialien oder störende Texturen zu verzichten, sodass die wichtigen Aspekte des 3D-Gebäudemodells – hier die Wärmebrücken - hervorgehoben werden.

Für die Visualisierungsentwicklung wurden die Applikationen Blender [Ca14] und das Framework Blend4Web [St14] (s. Kapitel 3.3.2) eingesetzt. Zunächst wurde mit Blender eine Szene in einer geeigneten Landschaft erstellt, die dann nachfolgend mit den thermografischen 3D-Modellen erweitert wurde (s. Abb. 6). Die so mit Blender importierten und um Details erweiterten 3D-Objekte können anschließend als einzelne JSON Dateien exportiert und in einer WEB GL basierten Webapplikation integriert werden. Es ist mit Blend4Web auch möglich, sich die komplette 3D-Szene als HTML Seite mit CSS, JS, Canvas und WEBGL generieren zu lassen, die als Basis für weitere Entwicklungen verwendet werden kann.



Abb. 6: Blender 3D-Szene aus Echt- und Wärmebildmodellen mit Blend4web Technologie[9]

3.3.2 Visualisierung von Thermografie- und Tageslichtaufnahmen im Web

Mit WebGL und dem neuen HTML5 Standard ist es möglich, 3D-Inhalte direkt im Internet Browser darzustellen. Blend4Web nutzt diesen Vorteil und ist noch eine relativ junge Web-Technologie. Man kann damit eine in Blender erstellte 3D-Szene als Webseite generieren lassen und über den mitgegebenen Viewer von allen Seiten betrachten (s. Abb. 7). Die, aus der Tool-Framework Kombination erstellte Webseite dient als Basis für die Darstellung von 3D-Inhalten aus Thermografie-, Tageslicht-, Wärmebrücken-, und Hybridaufnahmen im dreidimensionalen Raum.

[9] Eigene Darstellung



Abb. 7: 3D-Szene im Webbrowser mit Echt- und Wärmebildmodellen[10]

4 Ergebnisse und Fazit

Durch den Einsatz von Algorithmen zur automatischen Erkennung von Wärmebrücken auf Wärmebildaufnahmen von Häuserfassaden können Schwachpunkte in der Dämmung gezielt lokalisiert und analysiert werden.

Das Framework Blend4Web ermöglicht das Erstellen einer angenehm zu navigierenden 3D-Szene als Webseite, die beliebig erweitert und schon im frühen Entwicklungsstadium zu Analysezwecken benutzt werden kann.

Die erzeugte Webapplikation beinhaltet innerhalb der 3D-Landschaft realitätsnahe Abbildungen bzw. 3D-Modelle der zuvor aufgenommenen Gebäude auf Echt-, Thermo-, Wärmebrücken- und Hybridbildbasis und lädt dazu ein, in der Szene umher zu navigieren, um z. B. die vom Algorithmus automatisch erkannten Wärmebrücken etwas näher zu betrachten.

Es gibt klare Vorteile bei einer Blend4Web basierten Webseite. Die direkte Darstellung von 3D-Modellen im Browser ist möglich, ohne ein zusätzliches Plugin verwenden zu müssen. Die Entwicklung basiert zudem auf den Open Source Standards JavaScript und WebGL. Die 3D-Visualisierung bietet eine bessere Informationsvermittlung und

[10] Eigene Darstellung

Interaktivität mittels 3D-Modelldarstellung. Zudem ist eine Darstellung sowohl auf mobilen Endgeräten als auch auf Desktop-PCs möglich.

Neben dem Erzielen von Klimaschutzzielen bzw. dem Mindern des Energiebedarfs von Gebäuden durch das Anregen von Sanierungsmaßnahmen, lassen sich die Erkenntnisse dieser Arbeit auch an anderen Stellen anwenden. Grundsätzlich lassen sich viele Formen von Schwachstellen erkennen, wie Fensterstürze, fehlende Dämmung in der U-Schale, undichte Bauteile bzw. Fugen, Durchfeuchtungen oder Verläufe von Heizungsrohren.

Danksagung: Wir danken dem Ministerium für Innovation, Wissenschaft und Forschung des Landes Nordrhein-Westfalen für die Förderung des Projekts „Interdisziplinäre Forschung für dezentrale, nachhaltige und sichere Energiekonzepte“ im Programm FH-STRUKTUR 2016.

Literaturverzeichnis

[Bi09] An improved CANNY edge detection algorithm von Bing Wand, Department of Electric and Information Engineering Changsha University of Science and Technology Changsha, Hunan, China, 2009.

[Ca14] Carsten Wartmann: Das Blender-Buch: 3D-Grafik und Animation mit Blender, 2014.

[En17] Energetische Stadtsanierung, www.energetische-stadtsanierung.info, Stand: 04.04.2017.

[Ga08] Learning OpenCV von Gary Bradski, Adrian Kaehler, O’Reilly, 2008.

[Ka13] Parametrische Statistik: Verteilungen, maximum likelihood und GLM in R (Statistik und ihre Anwendungen) von Carsten Dormann, Sprinker Spektrum, 2013.

[Le06] Leigh Hagestad: Modeling and Rendering Architecture from Photographs: A hybrid geometry- and image-based approach (An Implementation Project), S. 7 ff. 2016.

[Pa96] Paul E. Debevec; Camillo J. Taylor; Jitendra Malik: Modeling and Rendering Architecture from Photographs. In SIGGRAPH ’96, S. 17 ff., August 1996.

[Ra11] An improvised Version of Canny Edge Detector, von Ravi Kumar Dalal, Rahul Gupta, Pulkit Wadhwa und Anand Gupta, Neta Subhas Institue of Technology , Neu Delhi, Indien, 2011.

[Sh07] H.-Y. Shum; S.-C. Chan; S. B. Kang: Image-based rendering, Springer, S. 1 f., 2007.

[St14] Stefanie Schäfers, 3D-Web-Applikationen mit Blend4Web, entwickler.de/online/3d-web-applikationen-mit-blend4web-erstellen-139994.html , Stand: 14.05.2017.

[Zh12] Zhen-Yu Zhu; Shuai Zhang; Shing-Chow Chan; Heung-Yeung Shum: Object-Based Rendering and 3-D Reconstruction Using a Moveable Image-Based System, S 1 ff., 2012.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 1961

Nachhaltige Gestaltung von Informations- und Kommunikationstechnik – Farben, Formen, Materialien

Hans-Knud Arndt[1]

Abstract: Der Beitrag befasst sich mit den Aspekten einer dominanten und nachhaltigen Designstrategie in der Informations- und Kommunikationstechnik (IKT). Bestandteile einer dominanten Designstrategie sind die Designstärke (ästhetische Qualität einzelner Produkte) und die Designkontinuität (Gültigkeit von eigenen Designgrundsätzen über eine längere Zeitdauer hinweg) eines Unternehmens. Der Schlüssel eines ausgewogenen Verhältnisses von Designstärke und Designkontinuität liegt im intelligenten Einsatz eines Minimalismus. Minimalismus im Bereich der IKT kann u.a. durch die Auswahl der richtigen Farben, Formen und Materialien im Hard- und Softwaredesign erreicht werden.

Keywords: Nachhaltigkeit, Informations- und Kommunikationstechnik, Designstrategie

1 Dominante Designstrategie

Nachhaltigkeit im Design steht in einem engen Zusammenhang mit einer dominanten Designstrategie. Unter einer dominanten Designstrategie wird – abgeleitet aus der Spieltheorie – „ein Designstil bezeichnet, der in der Lage ist, einen neuen Standard für die Gestaltung einzelner Produktgattungen zu setzen, der nur schwer von anderen Herstellern ignoriert beziehungsweise außer Kraft gesetzt werden kann, weil er an Einfachheit kaum noch zu überbieten ist“ [Zec11]. Ein gutes Beispiel für eine dominante Designstrategie ist das Unternehmen Braun, welches in den 1960er und 1970er Jahren unter Leitung des Chef-Designers Dieter Rams die Produktwelt der Elektrogeräte (Stereoanlagen, Haushaltsgeräte, Super-8-Filmkameras und vor allem Elektrorasierapparate) mit einem neuen, reduzierten Stil revolutionierte. Ein wesentliches Element der dominanten Braun-Designstrategie ist der Ansatz, dass jedes Produkt so einfach und schlicht, aber gleichzeitig so ästhetisch wie möglich gestaltet wird [Zec11]. Dieter Rams hat diesen Ansatz in der zehnten seiner Thesen zum guten Design zusammengefasst in „Gutes Design ist so wenig Design wie möglich“ [Vit17].

Die dominante Braun-Designstrategie lässt sich auf die Ideen des historischen Bauhauses zurückführen. Die Brüder Artur und Erwin Braun übernahmen Ende 1951 die Unternehmensleitung der Max Braun oHG und strebten eine Neuausrichtung des Unternehmens sowohl im Hinblick auf die Unternehmenskultur als auch im Hinblick auf das Produktdesign an. Einen wesentlichen Anstoß für diese Neuorientierung gab der Vortrag des Bauhaus-Schülers Wilhelm Wagenfeld am Institut für Neue Technische Form

[1] Otto-von-Guericke Universität Magdeburg, Fakultät für Informatik, Arbeitsgruppe Wirtschaftsinformatik - Managementinformationssysteme, hans-knud.arndt@iti.cs.uni-magdeburg.de

doi:10.18420/in2017_196

in Darmstadt im Jahr 1954. Erwin Braun schrieb später über die Bedeutung von Wilhelm Wagenfeld für das Unternehmen Braun: „Sie waren mein erster Lehrer in ‚industrial design'" [Ram95a]. In dem genannten Vortrag wird von Wilhelm Wagenfeld zudem schon recht präzise die Idee und Herangehensweise einer dominanten Designstrategie skizziert:

„Das Bessere braucht nur auf jeden Fall intelligente Produzenten, die jedes Produkt für seinen Zweck, das Brauchbarsein und Haltbarsein gründlich durchdenken. (...) Das Formfinden kann dabei zu Problemen führen, die gelöst werden müssen wie eine Forschungsaufgabe im chemischen und physikalischen Labor. Gleiches Eindringen in die Materie ist da vonnöten, gleiches Suchen und Tasten in langen Entwicklungsreihen und zu letzt das ebenso sorgfältige Überprüfen und Verändern in Gedanken an rationelle Fertigung. (...) Je einfacher ein Industrieerzeugnis sein soll, desto schwieriger sind die Voraussetzungen dafür zu erfüllen." [Ram95a].

Auf dem Gebiet der Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) ist es vor allem das kalifornische Technologieunternehmen Apple, das es in der heutigen Zeit versteht, erfolgreich eine dominante Designstrategie umzusetzen. Und auch die Apple-Produkte treten „auffallend unauffällig in Erscheinung" [Zec11]. Die Grundlagen des Apple-Designs können ebenfalls auf die Ideen des klassischen Bauhauses zurückgeführt werden. Der Mitgründer und langjährige Geschäftsführer der Apple Inc. Steve „Jobs sprach auf einem Vortrag auf der Aspen-Konferenz 1983 über seine Begeisterung für den Bauhaus-Stil. Das Tagungsthema lautete damals: ‚Die Zukunft ist nicht mehr, was sie einmal war.' Und Jobs sagte im großen Konzertzelt des Geländes die Ablösung des Sony-Stils durch die Einfachheit des Bauhaus-Stils voraus. (...) Das Mantra von Apple blieb immer das der ersten Broschüre: ‚Einfachheit ist die höchste Form der Raffinesse'" [Isa11].

Als Kern einer dominanten Designstrategie lässt sich somit ausmachen, dass „dieses Produktdesign in der Regel auf einer umfassenden Optimierung, wenn nicht gar Perfektionierung der Funktion und des Gebrauchs eines jeweiligen Produktes gerichtet ist" [Zec11].

2 Nachhaltige Optimierung und Perfektionierung von Produkten

Auf der Suche nach den Kriterien einer dominanten Designstrategie wurden in den 2000er Jahren im Rahmen eines Symposiums eines Designseminars (ingenieur)wis–senschaftlich Braun-Produkte analysiert [Pol11]:

> „Ein halbes Dutzend Professoren und Professorinnen war zugegen. Studenten, exzellent vorbereitet, beamten bekannte Braun-Produkte an die Wände. In den Fotos waren Linien, Winkel, Zahlen eingezeichnet. Die Referierenden hatten die Gegenstände genau vermessen und wollten ihnen so ihr Formgeheimnis entlocken. Dahinter steckt der Gedanke, dass jeder Gegenstand eine charakteristische Oberflächenlandschaft besitzt, eine Radientopographie. Das klingt interessant. Aber nun kommt der nächste Schritt: Durch die Vermessung

> der ineinander übergehenden Radien und Flächen hofft man nämlich, auf geometrische Muster zu stoßen und so Stile objektiv unterscheiden und beschreiben zu können. Die jungen Leute haben wirklich akribisch gemessen. Aber wozu führt diese Fleißarbeit? Im Zweifelsfall zu einer erheblichen Datenmenge, niemals jedoch zur Einsicht, was wirklich hinter dem Wort Braun-Design steckt, das selbst Geschichte ist (und aktiv gestaltet wurde). Letztlich handelt es sich um den Versuch, den Wert des Goldes anhand seiner chemischen Zusammensetzung zu bestimmen, also eine Art umgekehrter Alchemismus."

Dieses Beispiel zeigt in deutlicher Weise auf, dass sich die nachhaltige Optimierung und Perfektionierung von Produkten *nicht* durch eine (ingenieur)wissenschaftliche Herangehensweise erreichen lässt. Ein dominantes Design ist eng mit der *ästhetischen Qualität* der zu gestaltenden Produkte verbunden: „Die ästhetische Qualität eines Produkts – und damit seine Faszination – ist ein integraler Bestandteil seiner Brauchbarkeit" [Ram95b]. Aber der Schlüssel zur ästhetischen Qualität von Produkten liegt nicht in der Auswahl einer geeigneten Messmethode, sondern vielmehr in einem schöpferisch-kreativen Prozess, der je nach Begabung und Kompetenz der beteiligten Personen sehr unterschiedlich ausfallen kann [Ram95b]:

> „Allerdings lässt sich über ästhetische Qualität schwer diskutieren. Dafür gibt es zwei Gründe: Es ist schwierig, sich über Visuelles mit Worten zu verständigen, weil ein und dasselbe Wort für verschiedene Menschen eine ganz unterschiedliche Bedeutung haben kann. Und zweitens geht es bei ästhetischer Qualität um Nuancen, um feine Abstufungen, um den Gleichklang und das subtile Gleichgewicht einer Vielzahl von visuellen Elementen. Man braucht ein Auge, das durch jahrelange Erfahrung geschult ist, um hier ein fundiertes Urteil zu haben."

Neben der ästhetischen Qualität einzelner Produkte (Designstärke eines Unternehmens) ist auch die Designkontinuität Bestandteil einer dominanten Designstrategie. Als Designkontinuität kann eine gewisse Konstanz und Erfahrung im Umgang mit dem Design innerhalb einer Organisation bezeichnet werden [Zec11]. „Die Designkontinuität eines Unternehmens basiert auf langjährigen Erfahrungen und Erfolgen im Design. Eine besondere Herausforderung ist dabei, inwiefern es einem Unternehmen gelingt, seinen eigenen Grundsätzen über viele Jahre oder sogar Jahrzehnte hinweg treu zu bleiben, ohne irgendwann alt und unzeitgemäß zu wirken. **Es kommt darauf an, sich permanent zu verändern, ohne sich selbst fremd zu werden**" [ZeJ10].

Eine nachhaltige, dominante Designstrategie bedarf demnach eines ausgewogenen Verhältnisses von Designstärke und Designkontinuität und muss getragen werden von einer Unternehmerpersönlichkeit, bei dem Unternehmen Braun war es Erwin Braun, bei dem Unternehmen Apple Steve Jobs, in Zusammenarbeit mit einer Designerpersönlichkeit, bei dem Unternehmen Braun war es Dieter Rams, bei dem Unternehmen Apple ist es bis heute Jonathan Ive.

Der Schlüssel eines ausgewogenen Verhältnisses von Designstärke und Designkontinuität

liegt im intelligenten Einsatz eines Minimalismus.

3 Minimalismus

Minimalismus in der Gestaltung der Informations- und Kommunikationstechnik (IKT) ist die Umsetzung der Forderung des letzten Direktors des historischen Bauhaus, Ludwig Mies van der Rohe, nach einem „weniger ist mehr“ und damit auch hin zu einer Nachhaltigkeit. Konkret wird ein IKT-Minimalismus u.a. erreicht durch die Auswahl der richtigen Farben, Formen und Materialien im Hard- und Softwaredesign.

3.1 Farben

Minimalismus bezogen auf die Farbgestaltung bedeutet eine gezielte Zurückhaltung in der Farbvielfalt: „Geräte für den persönlichen Gebrauch, die über längere Zeit hinweg intensiv genutzt werden, sollten möglichst unauffällig sein, zurücktreten, sich gut in die Umgebung einfügen. Starke Farbakzente können stören und belasten. Farblich neutrale Produkte lassen dagegen die Chance, eine Umgebung so zu gestalten, wie es dem eigenen Farbempfinden entspricht – und sie später auch wieder verändern können“ [Ram95c]. Im Braun-Design unter der Leitung von Dieter Rams wurden deshalb keine bunten Farben verwendet: „Als Grundfarbe wurden weiß, helles grau, schwarz oder unmittelbare Metallfarben wie z.B. Aluminium natur oder dunkel eloxiert und Velourchrom eingesetzt“ [Ram95c].

Dagegen sollten bunte Farben gezielt zur Information verwendet werden. Das Unternehmen Braun hat zur besseren Bedienbarkeit ihrer Produkte einen spezifischen Farbcode entwickelt (so z.B. beim Taschenrechner Braun ETS 77 solar, siehe Abb. 1) und diesen jahrzehntelang eingesetzt [Ram95c]. Als weiteren Grund für den Einsatz von bunten Farben sah das Braun-Design von Dieter Rams Geräte, „die als Produktalternative für Menschen gedacht waren, die in ihrer persönlichen Umgebung kräftige Farbakzente durch Geräte setzen wollten, statt Blumensträuße oder andere Dekorationen zu verwenden, die sich nicht in die Farbharmonie des Raumes einfügen“ [Ram95c].



Abb. 1: Taschenrechner Braun ETS 77 solar (Quelle: Eigene)

Grundsätzlich verfolgt auch das Apple-Design die vom Unternehmen Braun etablierte Farbphilosophie. Es darf aber nicht vergessen werden, dass das Unternehmen Apple nach Rückkehr von Steve Jobs als Geschäftsführer im Jahr 1998 mit überwältigendem Erfolg den ersten iMac (gestaltet von Jonathan Ive, siehe Abb. 2) vorstellte: „Der erste iMac – Das ‚i' war das Signal für den Neuanfang – hatte eine transparente Hälfte, weiche Rundungen und Bonbonfarben [im Original hervorgehoben]. Es war das erste teure Gerät im ‚Lollipop-Look' der späten 1990er-Jahre, ein Hingucker" [Pol11]. Erst mit der Vorstellung des ersten tragbaren digitalen Medienabspielgeräts iPod im Jahr 2001 schwenkte das Unternehmen Apple wieder zurück zur Farbphilosophie in der Tradition des Unternehmens Braun.



Abb. 2: iMac 1998 (Quelle: [App16])

Während also selbst ein Unternehmen wie Apple mit dem Entwurf des ersten iMac nicht konsequent ihre dominante und nachhaltige Designstrategie verfolgte, stellt sich gerade wieder bei der Vorstellung des iPhones 7 in der Produktvariante „(RED)“ (siehe Abb. 3) die Frage, ob diese Produktvariante zwangsläufig in eine minimalistische Strategie eingeordnet werden kann: Ist die Farbe Rot nachhaltig – im Sinne von über einen längeren Zeitraum (von vielen Jahren) – akzeptabel für den Nutzer (also nicht einer kurzfristigen Mode unterworfen)? Die Antwort ist in der Braun-Farbphilosophie zu finden. Ein Smartphone wie das iPhone ist heutzutage ein äußerst persönlicher Gegenstand und als solcher kann er sehr wohl als kräftiger Farbakzent eines Menschen in seiner persönlichen Umgebung verstanden werden. Insofern steht ein iPhones 7 in der Produktvariante „(RED)“ nicht in einem grundsätzlichen Widerspruch zu einer nachhaltigen und dominanten Designstrategie. Darüber hinaus ist das iPhone 7 (RED) Teil der Apple (RED) Partnerschaft HIV/AIDS Programme [App17a] und somit Bestandteil einer sozialen Nachhaltigkeit bzw. ein Baustein im Sinne der Ziele für eine nachhaltige Entwicklung.



Abb. 3: Apple iPhone 7 (Produkt) RED™ (Quelle: [App17b])

3.2 Formen

Minimalismus der Formen zeichnet sich aus durch den Einsatz von symmetrischen Formen und dem Verzicht von unnötigen Verzierungen, beispielsweise durch Rechtecke, Quadrate und klare Linien [Arn17]. Dieter Rams Designthese „Gutes Design ist konsequent bis ins letzte Detail" folgend gestaltet Apple beispielsweise bei Hard- und Softwareobjekten die Oberflächen nach dem Prinzip der Gleichmäßigkeit des Krümmungswinkels (Krümmungsstetigkeit, siehe Abb. 4), d.h. Tangentialitäten und scharfe Verschiebungen der Senkrechten auf den Kurven werden vermieden [Tan17].

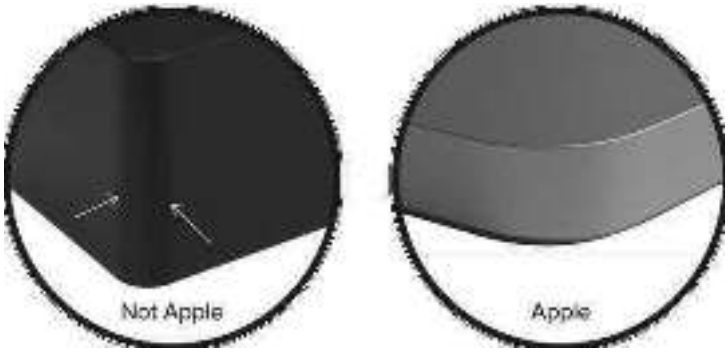


Abb.4: Gleichmäßigkeit beim Krümmungswinkel bei Apple-Produkten (Quelle: [Sta17])

Der Minimalismus in der Formensprache lässt sich u.a. auf die Ideen der klassischen

Moderne (Bauhaus) zurückführen. Durch eine neue, reduzierte Formensprache sollte Rationalität zum Ausdruck gebracht werden. Aber die Formensprache der klassischen Moderne war keine unmittelbare Folge industrieller Fertigungsprozesse, sondern nahm die industriellen Produktionsmöglichkeiten als umfassende künstlerische Herausforderung an [Swa10]. Für den Gründungsdirektor des Bauhauses, Walter Gropius, „war Rationalisierung weit mehr als eine Sparmaßnahme, sie sollte als ‚geistige Bewegung in der zivilisierten Welt zu einer humanen und sozialen Architektur beitragen, die auf der Basis von Vernunft die Vielfältigkeit des menschlichen Lebens zu einer Einheit verbindet“ [Nie12].

3.3 Materialien

Bei der Gestaltung von Produkten sind zunächst funktionale, ökonomische und ökologische Aspekte von Bedeutung. Aber auch die jeweilig bei Industrieprodukten eingesetzten Materialien sind eng mit der Geschichte des Designs verbunden. „Nicht nur in der bildenden Kunst bezieht sich die Forschung immer mehr auf die Materialikonografie. Dabei wird untersucht, wie Werkstoffe zum Gehalt und zur Bedeutung eines Objektes beitragen und den Gestaltungsprozess und die Form des Designs beeinflussen können“ [Grä11].

Typische Materialien des Minimalismus stellen Metall und Glas dar. Eines der wesentlichen architektonischen Merkmale des historischen Bauhausgebäudes in Dessau ist die Glasvorhangfassade (siehe Abb. 5, links). Diese nichttragende, wie ein Vorhang an der Decke befestigte Fassade besteht aus einfachen Fensterglasscheiben eingefasst in Metallrahmen. Und genau diese Kombination aus Metall und Glas findet sich in sehr ausgeprägter Art und Weise wieder in dem Entwurf des Apple iPhone 4 aus dem Jahr 2010 (siehe Abb. 5, rechts). Für das iPhone 4 wurden für die Vorder- und Rückseite spezielle Glasscheiben aus Aluminosilikat verwendet. Aluminosilikat zeichnet sich durch eine sehr hohe Härte aus und wird deshalb auch vielfach in Transportfahrzeugen eingesetzt. Der Rahmen ist aus einem Edelstahl gefertigt. Damit zeigt der Entwurf des iPhone einerseits, dass der Einsatz von innovativen Materialien ein wesentliches Kriterium im Rahmen einer dominanten und nachhaltigen Designstrategie darstellt. Andererseits aber auch, dass traditionelle Materialien bzw. Materialkombinationen immer neu auf ungewöhnliche Art und Weise eingesetzt werden können. „Der Umgang mit Werkstoffen zählt zu den wichtigsten Innovationen des Designteams bei Apple. Die Materialien prägen nicht nur den Gesamteindruck der Marke und stärken deren Corporate Identity, sie tragen auch zum Alleinstellungsmerkmal Apples in der weltweiten Elektroindustrie bei“ [Grä11].



Abb. 5: Links: Vorhangfassade am Bauhausgebäude in Dessau (Quelle: Eigene),
Rechts: Apple iPhone 4 (Quelle: [App16])

4 Zusammenfassung und Ausblick

Die Nachhaltigkeit von Unternehmen und Organisationen wird maßgeblich durch die Gestaltung der jeweils erzeugten Produkte und Dienstleistungen beeinflusst. Produkte und Dienstleistungen sollen in ökonomischer Hinsicht, in ökologischer Hinsicht sowie in sozialer/gesellschaftlicher Hinsicht positiv überzeugen. Dies gilt heutzutage umso mehr auch für die Informations- und Kommunikationstechnik (IKT), also Hard- und Software. In jeder Branche etabliert sich für einen gewissen Zeitraum ein Unternehmen bzw. eine Organisation, die mit ihrem individuellen Designstil die Produkt- und Dienstleistungswelt revolutioniert und damit auch die Maßstäbe für diese Branche setzt. In den 1960er und 1970er Jahren war die Firma Braun ein solches Unternehmen auf dem Gebiet der Elektrogeräte. Für IKT-Produkte ist es heutzutage das kalifornische Unternehmen Apple. Beiden Unternehmen ist es gelungen, jeweils eine Designstrategie umzusetzen, die abgeleitet aus der Spieltheorie als dominant bezeichnet werden kann. Interessanterweise lässt sich sogar direkt ein Bezug zwischen dem Braun-Design und dem Apple-Design herstellen, der auch von beiden Unternehmen so gesehen wird.

Ein typisches Merkmal einer dominanten Designstrategie ist die Einfachheit. Also ein „weniger ist mehr“ oder eben der direkte Bezug zur Nachhaltigkeit. Praktisch umgesetzt werden kann die geforderte Einfachheit durch einen Minimalismus. Ein IKT-Minimalismus kann u.a. erreicht werden durch die Auswahl der richtigen Farben, Formen und Materialien im Hard- und Softwaredesign.

Der Einsatz von den richtigen Farben, Formen und Materialien führt zu einer nachhaltigen Ästhetik und einem hohen Gebrauchskomfort (Usability). Während in der Vergangenheit

auf dem Gebiet der Farben und Formen durch das Braun-Design ganz wesentliche Ideen und Konzepte entwickelt wurden, die auch heute noch – z.B. bei den Produkten des Unternehmens Apple (siehe Abb. 6) – ihre Gültigkeit haben, sind gerade auf dem Gebiet der Materialien in Zukunft noch eine Fülle an Innovationen zu erwarten, gleichwohl die schon im Bauhausgebäude zu beobachtende Grundidee der Kombination von Metall und Glas immer noch richtungsweisend ist. Konkret werden in Zukunft aber innovative Metall- und Glaswerkstoffe entwickelt und eingesetzt werden, die sich doch deutlich vom Eisenmetall und einfachen Fensterglas der Vorhangfassade am Bauhausgebäude unterscheiden.



Abb. 6: Apple Taschenrechner-App in iOS 10 (Quelle: Eigene)

Literaturverzeichnis

[App16] Apple Inc. (Eds.): Designed by Apple in California. Self-published. Cupertino (USA), 2016.

[App17a] Apple Inc. (Hrsg.): iPhone 7 (Produkt) REDTM, 2017, https://www.apple.com/de/product-red/ [2017-05-15].

[App17b] Apple Inc. (Hrsg.): iPhone 7 (PRODUCT)RED kaufen, 2017, https://www.apple.com/de/shop/buy-iphone/special-edition-iphone-7 [2017-05-15].

[Arn17] Arndt, H.-K.: Sustainable User Experience Design of IT Products. In: Vajna, S. (Ed.): 11th International Workshop on Integrated Design Engineering (IDE Workshop | April 5th – 7th, 2017 | Magdeburg), Magdeburg, 2017, pp. 29-38.

[Grä11] Grätz, I.: Full Metal Jacket: Über das Material des Apple-Designs. In: Schulze, S./ Grätz, I. (Hrsg.) Apple Design, Publikation zur Ausstellung „Stylectrical – Von Elektrodesign, das Geschichte schreibt“, Museum für Kunst und Gewerbe Hamburg (MK&G) 26. August 2011 – 15. Januar 2012, Hantje Cantz Verlag, Ostfildern, 2011,

S. 76–87.

[Isa11] Isaacson, W.: Steve Jobs: Die autorisierte Biografie des Apple-Gründers, Bertelsmann Verlag, München, 2011.

[Nie12] Niess, W.: Festival der Philosophie: Rationalität als ästhetisches Programm, Pressemitteilung AG Stadtleben e.V., 27.03.2012, ihmebote.de, http://www.ihmebote.de/ 2012/03/27/rationalitaet-aesthetisches/ [2017-06-20].

[Pol11] Polster, B.: „Kronberg Meets Cupertino: Was Braun und Apple wirklich gemeinsam haben. In: Schulze, S./Grätz, I. (Hrsg.) Apple Design, Publikation zur Ausstellung „Stylectrical – Von Elektrodesign, das Geschichte schreibt", Museum für Kunst und Gewerbe Hamburg (MK&G) 26. August 2011 – 15. Januar 2012, Hantje Cantz Verlag, Ostfildern, 2011, S. 64–75.

[Ram95a] Rams, D.: 40 Jahre Design für Braun, 1995. In: Rams, D. (Hrsg.): Weniger, aber besser – Less but better, Die Gestalten Verlag, Berlin, 6. Aufl., 2016, S. 8–12.

[Ram95b] Rams, D.: Zehn Thesen zum Design, 1995. In: Rams, D. (Hrsg.): Weniger, aber besser – Less but better, Die Gestalten Verlag, Berlin, 6. Aufl., 2016, S. 6–7.

[Ram95c] Rams, D.: Farben, 1995. In: Rams, D. (Hrsg.): Weniger, aber besser – Less but better, Die Gestalten Verlag, Berlin, 6. Aufl., 2016, S. 60–63.

[Sat17] Stanton, M.: Apple's Icons Have That Shape for a Very Good Reason, hackernoon, 24.01.2017, https://hackernoon.com/apples-icons-have-that-shape-for-a-very-good-reason-720d4e7c8a14 [2017-06-20].

[Swa10] Schwarting, A.: Die Siedlung Dessau-Törten: Rationalität als ästhetisches Programm, Verlag Thelem, Dresden, 2010.

[Tan17] Tan, D.: About The Unique Shape Of Apple's Icons Shows Its Commitment To Beautiful Design. designtaxi.com, 02 Feb. 2017. http://designtaxi.com/news/390569/ The-Unique-Shape-Of-Apple-s-Icons-Shows-Its-Commitment-To-Beautiful-Design/ [2017-06-20].

[Vit17] Vitsoe Ltd (Hrsg.): Dieter Rams: Zehn Thesen für gutes Design, https://www.vitsoe.com/de/ueber-vitsoe/gutes-design [2017-06-20].

[Zec11] Zec, P.: „All New Design": Das Geheimnis eines magischen Unternehmenserfolgs. In: Schulze, S./Grätz, I. (Hrsg.) Apple Design, Publikation zur Ausstellung „Stylectrical – Von Elektrodesign, das Geschichte schreibt", Museum für Kunst und Gewerbe Hamburg (MK&G) 26. August 2011 – 15. Januar 2012, Hantje Cantz Verlag, Ostfildern, 2011, S. 88–103.

[ZeJ10] Zec, P., Jacob, B.: Der Designwert. Eine Strategie der Unternehmensführung, Essen. 2010, S. 63. So zitiert in Zec, P.: „All New Design": Das Geheimnis eines magischen Unternehmenserfolgs. In: Schulze, S./Grätz, I. (Hrsg.) Apple Design, Publikation zur Ausstellung „Stylectrical – Von Elektrodesign, das Geschichte schreibt", Museum für Kunst und Gewerbe Hamburg (MK&G) 26. August 2011 – 15. Januar 2012, Hantje Cantz Verlag, Ostfildern, 2011, S. 88–103.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 1973

Umwelt- und Nachhaltigkeitsthemen für die breite Masse: Nachhaltigkeit in Internetunternehmen

Eva Kern[1]

Abstract: Nachhaltigkeitsthemen – sowohl aus Sicht der Umwelt als auch hinsichtlich gesellschaftlicher Verantwortung – gewinnen auch in Unternehmen zunehmend an Bedeutung. Eine Möglichkeit Einblick in die unternehmerischen Aktivitäten in diesen Bereichen zu gewinnen, bieten Nachhaltigkeitsberichte. So können die Themen einerseits innerhalb der Organisationen stärker verankert und erweitert werden. Andererseits dient die Berichterstattung der Information von Kunden, Verbrauchern und Nutzern. Folglich kann diese Form der Information als Möglichkeit zur Bekanntmachung von Umwelt- und Nachhaltigkeitsthemen angesehen werden. In diesem Artikel wird die Analyse von Nachhaltigkeitsberichten großer Internetunternehmen vorgestellt. Im Ergebnis zeigt sich, dass Umwelt- und Nachhaltigkeitsthemen insgesamt eine Rolle in den untersuchten Unternehmen spielen. Es werden verschiedene Schwerpunkte in den einzelnen Unternehmen gesetzt. Die betrachteten Nachhaltigkeitsberichte unterscheiden sich sowohl inhaltlich als auch in Umfang und Darstellung stark.

Keywords: Nachhaltigkeitsbericht, Internetunternehmen, Umwelt, Nachhaltigkeit, Green IT

1 Einleitung

Um ein Bewusstsein für Umwelt- und Nachhaltigkeitsthemen zu schaffen und damit möglichst viele Verbraucher zu einem umweltfreundlichen Verhalten zu motivieren, braucht es insbesondere Wissen und Transparenz. Die Bereitstellung von Informationen zu den Themen kann einen bewussteren Umgang mit natürlichen Ressourcen unterstützen. Mögliche Informationsquellen sind z. B. Nachhaltigkeitsberichte, Umweltkennzeichnungen oder auch entsprechende Vorträge und Veranstaltungen. Weitere Ideen zur Kommunikation von Themen der Nachhaltigkeitsinformatik werden in [KE15] aufgeführt.

Bisher werden „Green IT"- und ähnliche Lösungsansätze zur Reduktion der negativen Auswirkungen der IKT-Nutzung primär in industriellen und wissenschaftlichen Kontexten diskutiert. Verbraucherinnen und Verbrauchern, als Nutzende von Hard- und Softwareprodukten, fehlt es oftmals an vergleichbaren Kenntnissen. Verschiedene Studien zeigen, dass entsprechende Informationsmaßnahmen durchaus positive Effekte auf das Wissen der Verbraucher über umweltfreundliche Produkte und die Intention, das eigene Kaufverhalten entsprechend zu ändern, haben. [RO05], [RA09]. Es ist jedoch unklar, wie langfristig derartige Effekte sind.

[1] Leuphana Universität Lüneburg, Scharnhorststraße 1, 21335 Lüneburg & Umwelt-Campus Birkenfeld, Campusallee 9925, 55768 Hoppstädten-Weiersbach, mail@nachhaltige-medien.de

doi:10.18420/in2017_197

Spätestens seit der Verpflichtung zur Berichterstattung auf europäischer Ebene steigt die Zahl der Nachhaltigkeitsberichte. Auch diese Form der Information kann als Möglichkeit zur Bekanntmachung von Umwelt- und Nachhaltigkeitsthemen angesehen werden. In Deutschland steigt die Zahl der Berichte sowohl bei großen als auch bei kleinen und mittelständigen Unternehmen (KMUs). Dabei werden die Berichte zunehmend digital aufbereitet und zur Verfügung gestellt. Die Digitalisierung macht demnach auch vor der CSR-Berichterstattung nicht Halt. Jüngst, im Zuge der Umsetzung der Sustainable Development Goals[2] in eine nationale Strategie, fand auch die Nachhaltigkeitsberichterstattung Eingang in die Nachhaltigkeitsstrategie Deutschland [MU16]. Entsprechend sollen „Informations- und Unterstützungsangeboten für Unternehmen (insbesondere KMU) in der Umsetzung der EU-Richtlinie zur Berichterstattung über Nachhaltigkeitsthemen“ [MU16] (weiter) aufgebaut werden.

Der vorliegende Artikel geht die Bekanntmachung von Nachhaltigkeitsthemen im IKT-Bereich ein. Folgende Fragen werden adressiert: (i) *Welche nachhaltigkeitsrelevanten Themen stehen im Interesse von Internetunternehmen?* (ii) *Wie kommunizieren diese Unternehmen zu den entsprechenden Themen?* Dazu wird zunächst eine kurze Einführung in das Thema der Nachhaltigkeitsberichterstattung gegeben (Abschnitt 2). Im dritten Teil des Artikels werden Nachhaltigkeitsberichte von ausgewählten Internetunternehmen hinsichtlich verschiedener Aspekte analysiert. Die Ergebnisse der Analyse werden anschließend diskutiert und zusammengefasst (Abschnitt 4). Abschließend wird ein kurzer Ausblick gegeben. Hintergrund ist die im Rahmen der Workshopausschreibung aufgeworfene Frage „*Umweltschutz im Unternehmen: Verbesserung oder Verwässerung durch Informationssysteme?*“. Der Artikel zielt darauf ab, eine kritische Betrachtung von Aktivitäten zur nachhaltigen Entwicklung anzuregen. Schwerpunkt der Analyse ist dabei der Zusammenhang zwischen „Digitalisierung in der Nachhaltigkeitsberichterstattung“ und die Betrachtung von IKT-Themen in dieser Entwicklung, nicht die differenzierte Betrachtung des Nachhaltigkeitsmanagements als solches.

2 Nachhaltigkeitsberichterstattung

Seit einigen Jahren gewinnt die Nachhaltigkeitsberichterstattung zunehmend an Bedeutung. Dies ist sowohl für Unternehmen als auch für Institutionen wie Hochschulen der Fall. Der folgende Abschnitt geht einerseits auf gesetzliche Regelungen ein (Abschnitt 2.1). Andererseits wird ein kurzer Einblick gegeben, in welchen Bereichen Nachhaltigkeitsberichte eine Rolle spielen (Abschnitt 2.2).

2.1 Regularien und Richtlinien

Im Dezember 2014 trat in der Europäischen Union eine Richtlinie in Kraft, die – innerhalb

[2] http://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-development-goals/

von zwei Jahren in nationales Recht ihrer Mitgliedsstaaten umgesetzt – alle Großunternehmen verpflichtet in ihren Lageberichten ab 2018 Angaben zu Umwelt- und Sozialthemen zu veröffentlichen (2014/95/EU)[3]. Zur Erstellung des Berichtes stehen verschiedene Leitlinien zur Verfügung:

- Der *Globale Pakt der Vereinten Nationen*[4] (auch Global Compact, United Nations Global Compact) wurde 1999 zwischen Unternehmen und der UNO geschlossen mit dem Ziel einer sozialeren und ökologischeren Gestaltung der Globalisierung.
- Die *OECD-Leitsätze*[5] für multinationale Unternehmen wurden erstmals 1976 verabschiedet und umfassen Empfehlungen für verantwortliches unternehmerisches Handeln, die von Regierungen an die Wirtschaft ausgesprochen werden.
- Die *ISO 26000*[6] wurde 2010/11 veröffentlicht und gibt Empfehlungen an Organisationen jeglicher Art zum gesellschaftlich verantwortlichen Handeln.

Durch das Aufgreifen der Themen im Unternehmensbericht soll die Transparenz über ökologische und soziale Aspekte in Unternehmen erhöht werden. Gleichermaßen sollen die Unternehmen mit der EU-Verpflichtung dazu aufgefordert werden sich derartigen Fragen wie Umweltschutz, Menschenrechten und Korruptionsbekämpfung zu stellen. [BU16]

Auf nationaler Ebene findet sich die Verpflichtung zur Information der Auswirkungen von Unternehmensaktivitäten auf Gesellschaft und Umwelt im „Gesetz zur Stärkung der nichtfinanziellen Berichterstattung der Unternehmen in ihren Lage- und Konzernlageberichten“[7]. Bisher fehlt es an standardisierten Regeln zur einheitlichen Erstellung der Nachhaltigkeitsberichte – sowohl auf nationaler als auch auf internationaler Ebene. Vorhandene Initiativen und Richtlinien in diesem Bereich, wie die Global Reporting Initiative[8] und Global Compact, sind freiwillig. Dadurch wird die Vergleichbarkeit der verschiedenen Berichte erschwert.

2.2 Aktuelle Entwicklungen

Neben den inhaltlichen und rechtlichen Entwicklungen im Bereich der Nachhaltigkeitsberichterstattung haben sich auch die rasanten Veränderungen im IKT-Bereich Auswirkungen auf das Berichtswesen. Darüber wird sowohl in wissenschaftlichen Kontexten ([IS15], [IS14], [FR10]) als auch in Quellen der Populärmedien (z. B. [EN16]) informiert. Bereits seit gut 10 Jahren ist in der Forschung zur Nachhaltigkeitsberichterstattung die Rede davon, dass „die Digitalisierung und der Einsatz von IKT als ein wesentliches und treibendes Moment“ [IS07] erscheinen. Auch Jahre später werden „Digitalisierung und IKT (..) große

[3] http://ec.europa.eu/finance/company-reporting/non-financial_reporting/index_de.htm#related-documents
[4] https://www.unglobalcompact.org/
[5] http://www.oecd.org/corporate/mne/
[6] http://www.iso.org/iso/home/standards/iso26000.htm
[7] http://dip21.bundestag.de/dip21/btd/18/114/1811450.pdf
[8] https://www.globalreporting.org

Gestaltungschancen für die Nachhaltigkeitsberichterstattung zugesprochen“. [IS15]

Aus Forschungssicht lässt sich zwischen der Betrachtung der Nachhaltigkeitsberichte selbst – inhaltlich und aus der Perspektive ihrer Erstellung – und der Auseinandersetzung mit Kommunikationsaspekten und Verbreitungsmöglichkeiten der Reports unterscheiden. Dabei scheint der Fokus der Aktivitäten auf ersterem zu liegen.

Entsprechend zeigen sich die Auswirkungen der Digitalisierung einerseits in der Bereitstellung der Berichte in Form von Websites und digitalen Berichte bspw. pdf-Dateien. Das Internet wird als Kommunikationsinstrument genutzt und stellt einen zentralen Zugriffspunkt für Interessierte dar [IS14]. In diesem Zusammenhang listet Isenmann [IS14] „internetrelevante Entwicklungen in der Nachhaltigkeitsberichterstattung“ auf: z. B. Änderungen im Kommunikationsstil vom Monolog zum Dialog, in der Verfügbarkeit von Papier- zu elektronischen Berichten. Als Treiber einer internetgestützten Nachhaltigkeitsberichterstattung wird zwischen dem sogenannten „Marktsog“ (bspw. die heterogenen Informationsbedürfnisse) und dem Technologieschub (bspw. spezielle Software-Werkzeuge) unterschieden. Andererseits nimmt auch die Zahl von elektronischen Tools zur Unterstützung der Nachhaltigkeitsberichterstattung zu. [JO15], [IS15]. Dies betrifft sowohl die Erstellung der Berichte als auch ihre Verbreitung. Durch das Internet kann schneller eine höhere Reichweite und damit eine größere Transparenz erreicht werden [IS14]. Außerdem stehen durch Digitalisierung weitere Formen der Partizipation bereit. Bereits seit einigen Jahren gibt es Überlegungen zur Nutzung von Web2.0. Technologien in der Nachhaltigkeitsberichterstattung [SÜ09]. Isenmann [IS14] listest als aktuelle Beispiele RWE und SAP auf. Insgesamt scheinen, nach [IS14], die Potentiale in diesem Bereich noch nicht vollumfänglich genutzt zu werden. Erst nach und nach werden die digitalen Möglichkeiten auch zu einer entsprechenden Aufbereitung der Inhalte statt nur zur elektronischen Bereitstellung der Berichte genutzt.

Süpke et al. [SÜ09] gehen allgemein auf Nachhaltigkeitsberichte als Kommunikationsmittel ein und untersuchen die Möglichkeiten des Informationsaustauschs. Unterschieden werden vier Formen: (i) Unternehmen zu Stakeholder, (ii) Stakeholder zu Stakeholder, (iii) Stakeholder zu Unternehmen und (iii) Unternehmen zu Unternehmen. Aus Sicht des vorliegenden Artikels – mit Hinblick auf die Frage, wie mehr Aufmerksamkeit und Transparenz bezüglich der Aspekte der Umwelt- und Nachhaltigkeitsinformatik geschaffen werden können – erscheint die erste Form hier besonders interessant.

Umstritten ist die Nachhaltigkeitsberichterstattung aus dem Grund, dass es keine einheitlichen Richtlinien gibt und die bisherigen Regelungen nur Mindestanforderungen darstellen. Verpflichtende Regelungen beziehen sich v. a. auf Großunternehmen. Aktuelle Trends in Deutschland zeigen jedoch, dass sowohl die Anzahl der Berichterstatter in Großunternehmen als auch in KMUs[9] steigen [HO16]. Zudem steigt, laut dem Ranking der Nachhaltigkeitsberichte vom Institut für ökologische Wirtschaftsforschung und future e. V. – verantwortung unternehmen [HO16], die Qualität der Berichte bei KMUs. Abgesehen

[9] Kleine und mittelständige Unternehmen

von Unternehmen veröffentlichen zunehmend auch Hochschulen einen Nachhaltigkeitsbericht. Isenmann [IS15] untersucht die vorhandenen Berichte hinsichtlich des Einsatzes von IKT bei der Berichterstattung und -verbreitung. Er kommt zu dem Ergebnis, dass die durch Hochschulen bereitgestellten Berichte sich stark voneinander unterscheiden. Im betrachteten Jahr (2014) hatten 4 % der Hochschulen einen Nachhaltigkeitsbericht veröffentlicht, Tendenz steigend. Weitere Bereiche, in denen diese Form des Berichtswesens eine Rolle spielt, werden in [FI14] aufgeführt: u. a. werden zivilgesellschaftliche Organisatoren, kirchliche Akteure und internationale Aktivitäten genannt.

3 Nachhaltigkeitsberichte in Internetunternehmen

Bezogen auf Umwelt- und Nachhaltigkeitsthemen in Internetunternehmen, interessiert im vorliegenden Artikel zunächst die Frage, ob Nachhaltigkeitsberichte veröffentlicht werden. Sind derartige Berichte vorhanden, werden sie im nächsten Schritt auf verschiedene Kriterien hin analysiert. Das Vorgehen zur Analyse (Abschnitt 3.1) sowie die Betrachtung selbst und ihre Ergebnisse werden im Folgenden vorgestellt (Abschnitte 3.2 bis 3.4).

3.1 Methode und Vorgehen

Mit dem Report „Clicking Clean“ [CO15] brachte Greenpeace im Jahr 2015 erneut eine Studie zur Bewertung von Internetunternehmen hinsichtlich ihres Energieverbrauchs heraus. Es stellt sich die Frage, ob die in dieser Veröffentlichung positiv bewerteten Unternehmen auch aktiv Informationen zu Nachhaltigkeitsthemen bereitstellen und damit Transparenz in diesem Themenbereich schaffen.

Im ersten Schritt wurde für die TOP15 der von Greenpeace bewerteten Unternehmen geprüft, (i) ob Nachhaltigkeitsberichte vorliegen, (ii) in welcher Form die Berichte zur Verfügung gestellt werden und (iii) ob Umwelt- und Nachhaltigkeitsthemen grundsätzlich auf der Unternehmenswebsite thematisiert werden. Die Ergebnisse sind im nächsten Abschnitt 3.2 dargestellt. Daran anschließend werden die Berichte und entsprechende Bereiche der Websites der TOP5 Unternehmen näher betrachtet. Dazu werden die Kriterien des Deutschen Nachhaltigkeitskodex herangezogen (Abschnitt 3.3). Abschließend, in Abschnitt 3.4, wird darauf eingegangen, ob und wenn ja wie Themen der Umwelt- und Nachhaltigkeitsinformatik in der digitalen Nachhaltigkeitskommunikation der betrachteten Unternehmen aufgegriffen werden. Die Analyse wurde zwischen 18. März bis 29. April 2017 durchgeführt.

3.2 Verfügbarkeit von Nachhaltigkeitsberichten und Zugriffmöglichkeiten

Um eine höhere Aufmerksamkeit für Umwelt- und Nachhaltigkeitsthemen in Internetunternehmen zu schaffen, muss auf derartige Informationen möglichst einfach zugegriffen

werden können. Eine Möglichkeit herauszufinden, ob die jeweiligen Unternehmen Nachhaltigkeitsberichte veröffentlichen ist über die Website der GRI. Hier[10] findet sich eine Liste aller Unternehmen, die nach dem Standard der Initiative Bericht erstattet haben. Die meisten der betrachteten Internetunternehmen sind in dieser Liste zu finden (11 von 15 Unternehmen, siehe Tab. 1). Sie berichten nach unterschiedlichen GRI-Versionen. Nicht immer sind die Reports durchgehend auf der GRI-Website gelistet oder vom vergangenen Jahr verfügbar.

Auf der Website der GRI wird auf die entsprechenden Nachhaltigkeitsberichte als .pdf-Dokument und/oder – je nach Verfügbarkeit – .html-Darstellung verlinkt. Ist kein Link vorhanden, wurde im Internet nach einem entsprechenden Bericht gesucht. Zudem wurden die Unternehmenswebsites nach den Begriffen „Sustainability“ und „Sustainability Report“ bzw. der entsprechenden deutschen Übersetzung über auf der Website eingebettete Suchfunktion durchsucht. Die Ergebnisse der Recherche sind der Spalte „Website“ in Tab. 1 zu entnehmen. Zweck der Suche war herauszufinden, ob das Thema, abgesehen vom Nachhaltigkeitsbericht als solchem, im Online-Auftritt des Unternehmens angegangen wird.

Neben dem Dateiformat ist hinsichtlich der Erreichbarkeit der Informationen zu Nachhaltigkeitsthemen interessant, ob diese direkt über die Startseite erreichbar sind. Dies war in den wenigsten Fällen gegeben. Falls doch, wurde im unteren Bereich der Seite verlinkt. In der Regel mussten die Unterseiten im Menü zunächst gefunden werden. Das Thema wird bspw. unter „Nachhaltigkeit / Sustainability“, „Environment“ oder „Corporate Responsibility“ aufgeführt.

Nr.	***Unternehmen***	***GRI gelistet***	***pdf***	***html***	***Website***	***Startseite***
1	Apple	Ja (Non-GRI), 2016-2011, 2009-2008	Ja	Ja	Ja	Ja (Footer)
2	Facebook	Nein	Nein	Ja	Ja	Nein
3	Google	Ja (ohne Reports)	Ja	Nein	Ja	Nein
4	HP	Ja (GRI-G4) 2016-2002	Ja	Ja?	Ja	Ja (Footer)
5	salesforce	Ja (Non-GRI) 2015-2013	Ja	Nein	Ja	Nein
6	Microsoft	Ja (GRI-G4) 2016-2009, 2004	Nein	Ja	Ja	Nein
7	IBM	Ja (GRI-G4) 2016-2007, 2004	Ja	Nein	Ja	Ja (Footer)
8	Alibaba Group	Ja (GRI-G3.1) 2012-2008	Ja	Nein	Ja	Ja (Footer)
9	Tencent	Ja (GRI-G3.1) 2015, 2013, 2011	Ja	Nein	Nein*	Nein

[10] http://database.globalreporting.org/

10	Baidu	Ja (GRI-G4) 2017, 2012, 2009	Nein	Nein	Nein**	Nein**
11	Adobe	Ja (Citing-GRI) 2016-2014, 2012	Ja	Ja	Ja	Nein
12	amazon.com web services	Nein	Nein	Nein	Ja	Ja (Footer)
13	Samsung SDS	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein
14	Oracle	Ja (Non-GRI) 2016, 2015, 2013	Nein**	Ja	Ja	Nein
15	Naver	Nein	Nein	Nein	Nein***	Nein

Tab. 1: Verfügbarkeit und Darstellungsform von Nachhaltigkeitsberichten der TOP 15 Unternehmen in der Greenpeacestudie "Clicking Clean" [Stand: 19.03.17]
(*„Corporate Cizenship“ wird thematisiert; **die Verfügbarkeit eines Berichtes / Verweis in chinesischer Sprache konnte nicht geprüft werden; ***eine grafische Aufbereitung von Kennzahlen ist vorhanden; ****„Business Ethics“ und „Social Contribution“ werden theamtisiert)

3.3 Analyse der Berichte nach dem Deutschen Nachhaltigkeitskodex

Der Deutsche Nachhaltigkeitskodex[11], im Jahr 2011 vom Rat für Nachhaltige Entwicklung gemeinsam mit verschiedenen Stakeholdern ausgearbeitet, stellt eine branchenübergreifende Orientierung zur Nachhaltigkeitsberichterstattung dar. Zur Nutzung des Nachhaltigkeitskodex brachten der Rat für Nachhaltige Entwicklung und die Bertelsmannstiftung einen Leitfaden heraus. Dieser dient der internen Unterstützung von Unternehmen (insbesondere KMUs) bei der Berichterstattung und der Umsetzung von Nachhaltigkeitsmaßnahmen. Gleichermaßen ist der Leitfaden Orientierung für Externe, die sich über Nachhaltigkeitsaspekte eines Unternehmens informieren wollen. Mit Hilfe der 20 Kriterien wird es Außenstehenden ermöglicht die Nachhaltigkeitsberichte strukturiert durchzugehen und verschiedene Berichte gegenüber zu stellen. [RA14]

Dazu wird der Leitfaden auch in der vorliegenden Analyse genutzt: anhand der Kriterien des Deutschen Nachhaltigkeitskodex werden die Berichte der von Greenpeace gelisteten TOP5-Internetunternehmen analysiert. Dabei wird geprüft, ob und wenn ja, auf welche Weise, auf die verschiedenen im Kodex vorgeschlagenen Nachhaltigkeitskriterien eingegangen wird. Es findet keine inhaltliche Bewertung statt.

Die folgenden 20 Kriterien werden im Nachhaltigkeitskodex beschrieben[12]:

[11] http://www.deutscher-nachhaltigkeitskodex.de
[12] Die hier aufgeführten Fragen zur Erläuterung der Kriterien wurden basierend auf den Beschreibungen der Kriterien im Leitfaden zum Deutschen Nachhaltigkeitskodex ([RA14]) formuliert.

1. *Strategische Analyse und Maßnahmen*: Wie werden die wesentlichen Aktivitäten des Unternehmens hinsichtlich einer nachhaltigen Entwicklung analysiert? Welche Maßnahmen werden hierzu ergriffen?
2. *Wesentlichkeit*: Welche Aspekte der Nachhaltigkeit haben einen wesentlichen Einfluss auf die Geschäftstätigkeit?
3. *Ziele*: Welche qualitativen und/oder quantitative Nachhaltigkeitsziele werden gesetzt und operationalisiert? Wie wird der Erreichungsgrad kontrolliert?
4. *Tiefe der Wertschöpfungskette*: Wie beeinflussen Nachhaltigkeitsaspekte die Wertschöpfung? Bis zu welcher Tiefe der Wertschöpfungskette werden Nachhaltigkeitskriterien überprüft?
5. *Verantwortung*: Wer trägt in der Unternehmensführung die Verantwortlichkeiten für Nachhaltigkeit?
6. *Regeln und Prozesse*: Wie wird die Nachhaltigkeitsstrateie im operativen Geschäft umgesetzt?
7. *Kontrolle*: Wie und welche Leistungsindikatoren zur Nachhaltigkeit werden genutzt? Wie sehen entsprechende Planung, Kontrolle, Prozesse aus?
8. *Anreizsysteme*: Wie orientieren sich Zielvereinbarungen und Vergütungen von Führungskräften und Mitarbeitern am Erreichen von Nachhaltigkeitszielen?
9. *Beteiligung von Anspruchsgruppen*: Wie werden Gesellschaft und wirtschaftliche Anspruchsgruppen in den Nachhaltigkeitsprozess integriert?
10. *Innovations- und Produktmanagement*: Wie können Innovationen bei Produkten/ Dienstleistungen die Nachhaltigkeit bei der Ressourcennutzung optimieren?
11. *Inanspruchnahme* natürlicher Ressourcen: In welchem Umfang werden für die Geschäftstätigkeit natürliche Ressourcen beansprucht?
12. *Ressourcenmanagement*: Welche qualitativen und quantitativen Ziele werden hinsichtlich der Nutzung von Ressourcen gesetzt? Wie sollen/werden sie erfüllt?
13. *Klimarelevante Emissionen*: Wie hoch sind die Treibhausgas-Emissionen? Welche Ziele werden diesbezüglich gesetzt?
14. *Arbeitnehmerrechte*: Wie werden (inter)national anerkannte Standards zu Arbeitnehmerrechten eingehalten? Wie wird die Beteiligung der Mitarbeitenden am Nachhaltigkeitsmanagement gefördert?
15. *Chancengerechtigkeit*: Wie werden Themen der Chancengerechtigkeit angegangen? Welche Ziele werden diesbezüglich gesetzt?
16. *Qualifizierung*: Welche Ziele werden hinsichtlich der Beschäftigungsfähigkeit gesetzt? Welche Maßnahmen werden diesbezüglich ergriffen?

17. *Menschenrechte*: Welche Maßnahmen für die Lieferkette werden ergriffen um zu erreichen, dass Menschenrechte weltweit geachtet werden?
18. *Gemeinwesen*: Wie wird zum regionalen Gemeinwesen beigetragen?
19. *Politische Einflussnahme*: Welche politischen Aktivitäten werden, je nach Ländern, umgesetzt?
20. *Gesetzes- und richtlinienkonformes Verhalten*: Was wird getan um rechtswidriges Verhalten zu vermeiden? Wie werden Zuwiderhandlungen verhindert, aufgedeckt und sanktioniert?

Die Berichte der fünf Unternehmen lagen in unterschiedlicher Form vor: während Apple, Google, HP und salesforce ihren Nachhaltigkeitsbericht als pdf-Datei bereitstellen und zusätzlich auf ihrer Website auf das Thema eingehen, ist eine pdf-Datei im Fall von Facebook nicht vorhanden. In die Analyse wurden sowohl die pdf-Dateien als auch die hmtl-Versionen einbezogen. Die Berichte wurden dahingehend untersucht, ob auf die 20 Kriterien des Deutschen Nachhaltigkeitskodex eingegangen wird (Tab. 2). Im ersten Schritt wurde geprüft, in welcher Form auf das jeweilige Kriterium eingegangen wird. Anschließend wurde die Nähe zum Kriterium betrachtet: Wird das Thema direkt oder indirekt angesprochen, geht es unter allgemeinen Phrasen unter? Wird auf ein weiteres Dokument verwiesen?

Insgesamt zeigt sich, dass die betrachteten Nachhaltigkeitsberichte sich sowohl inhaltlich als auch in Umfang (von 24 bis 154 Seiten) und Darstellung stark unterscheiden. Die angesprochenen Themen reichen von einem Fokus auf Umweltthemen (bspw. im Google-Bericht) bis zu einer umfassenden Differenzierung nach Umwelt, Gesellschaft und Integrität (HP-Bericht). Während Apple seine Aktivitäten im Bereich Nachhaltigkeit deskriptiv darstellt und zahlreiche Fallbeispiele aus dem internationalen Kontext aufzeigt, die nur am Rande quantitativ untermauert werden, veröffentlicht HP umfangreiche Zahlen und Fakten, z. B. zu seinen Ressourcenverbräuchen. Für Apple scheint die Darstellung von Prozessen, Vorgehensweisen und seiner internationalen Zusammenarbeit, von Bedeutung zu sein. Gemessen an der Zahl adressierter Kriterien nach dem Deutschen Nachhaltigkeitskodex, wird im Fall von HP auf die meisten Themen eingegangen, wenn auch, bspw. bzgl. Anreizsystemen sowie Innovations- und Produktmanagement, teils nur indirekt. Der Nachhaltigkeitsbericht von Salesforce stellt primär einen Überblick zu den verschiedenen Thematiken – mit Fokus auf Umweltaspekte – dar. Um Detailwissen zu erlangen, wird an vielen Stellen auf gesonderte Online-Dokumente verwiesen. Facebook verzichtet auf die klassische Form der Bereitstellung eines Berichtes und bereitet die Inhalte in einem Online-Auftritt auf. Entsprechend des gewählten Mediums wird daher weniger mit langen Texten als mit kurzen Beschreibungen, großen Fotos und Grafiken gearbeitet.

Im Facebook- und im Google-Bericht, spielen gesellschaftliche Aspekte kaum bis keine Rolle. Im Fall von Google gibt der Titel des Berichts darauf schon einen Hinweis: „Environmental Report“. Facebook spricht jedoch von „Facebook Sustainability“. In allen anderen untersuchten Berichten finden sich, wie bei Google, die Inhalte, die über den Titel angekündigt werden (Apple: Supplier Responsibility Progress Report, HP: Sustainability

Report, Salesforce: Stakeholder Impact Report).

	Strategie				Prozessmanagement						Umwelt				Gesellschaft					
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**
Apple	q	v	n	n	n	v	q	n	v	n	n	n	n	q	v	q	q	n	n	v
	d+	i+	p	p	n	d+	d+	n	d	n	p	n	n	i	i	d	d+	p	p	i
Face-book	v	n	v	n	v	v	v	v	v	v	g	v	g	n	n	n	n	v	n	n
	d	p	d	n	p	i	d	i	d	d	d+	d	d	n	n	n	n	d	n	n
Google	v	v	q	n	n	v	v	n	q	q	g	q	q	n	n	n	n	v	n	n
	d	d	d	n	n	p	i	n	i	i	d+	d	d	i+	n	p	n	i	i	n
HP	q	g	q	g	v	v	v	v	v	v	q	v	g	v	v	q	v	q	v	v
	d	d	d	d+	d	d	d+	i	d	i	d	d	d+	d	d	d	d+	d	d	d
sales-force	v	v	v	n	n	v	n	n	v	n	g	q	q	v	g	v	v	g	v	v
	d	i	d	p	n	d	i	p	d	n	d	d	d	V	d	d	d	d	d	v

Tab. 2: Ergebnisse der Analyse der Nachhaltigkeitsberichte der von Greenpeace gelisteten TOP5-Internetunternehmen (Apple 2016, Facebook 2015, Google 2015, HP 2015, salesforce 2015/16) basierend auf den 20 Kriterien des Deutschen Nachhaltigkeitsindex (s.o., hier über Nummern referenziert): Wie wird auf das Kriterium eingegangen? a) Form: nicht berichtet [n], verbal berichtet [v], quantitativ berichtet [q], grafisch aufbereitet [g] und b) Inhalt: indirekt thematisiert [i], direkt thematisiert [d], nicht thematisiert [n], geht unter (Phrasen) [p], nur als Verweis auf anderes Dokument [v], direkt thematisiert + zusätzlich weiterführender Verweis [d+], indirekt thematisiert + zusätzlich weiterführender Verweis [i+]

In allen betrachteten Berichten wird, unterschiedlich ausführlich und mehr oder weniger explizit, auf die „Strategische Analyse und Maßnahmen“ (Nr. 1) und die „Beteiligung von Anspruchsgruppen“ (Nr. 9) eingegangen. Abgesehen von Apple gehen alle der untersuchten fünf Unternehmen auf das Thema „Ressourcenmanagement“ (Nr. 12) ein. So gut wie gar nicht wird die „Tiefe der Wertschöpfungskette“ (Nr. 4) adressiert. HP stellt diese grafisch dar und verweist für Details auf zusätzliche Dokumente.

3.4 Analyse der Berichte aus Sicht der Umwelt- und Nachhaltigkeitsinformatik

Bezugnehmend auf die Ausgangsfrage zur Analyse der Nachhaltigkeitsberichte der Internetunternehmen, stellt sich die Frage, ob auf IKT-Themen im Zusammenhang mit Umwelt- und Nachhaltigkeitsaspekten eingegangen wird. Wird die IKT primär als Verursacher von Umwelteinflüssen oder als Unterstützer gesehen? Wird ihr eine positive oder negative Rolle zugeschrieben?

Wenn überhaupt, wird auf der Rolle von IKT im Zusammenhang mit Aspekten der Umwelt bzw. Nachhaltigkeit nur indirekt eingegangen. Thematisiert wird der hohe Energieverbrauch der Unternehmen, die alle im IKT-Bereich angesiedelt sind. Dieser wird insgesamt in Zusammenhang mit natürlichen Ressourcen gesetzt – sowohl für den Betrieb der Infrastrukturen als auch zur Herstellung der jeweiligen Produkte bzw. Bereitstellung der

Dienstleistungen. Daraus resultierend werden Strategien, Maßnahmen und zukünftig angestrebte Ziele zur Reduktion der Umwelteinflüsse abgeleitet. In allen Unternehmen wird den Fragen der Energieeffizienz und der Energiegewinnung (Stichworte „erneuerbare Energien", „Öko-Strom" etc.) Bedeutung zugemessen – teilweise werden diese aus Kosten-, teilweise aus Umweltsicht benannt. Explizit ist keine Rede von bspw. „Green IT", implizit können derartige Konzepte dahinterstehen, wenn von einer „grünen Gestaltung der Rechenzentren" gesprochen wird. „Green by IT"-Aspekte werden indirekt thematisiert, wenn z. B. dargestellt wird, wie Technologien des Unternehmens dazu genutzt werden können, Umweltdaten zu erfassen.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Die in der Einleitung aufgeworfenen Fragen hinsichtlich der Kommunikation von Internetunternehmen bzgl. Umwelt- und Nachhaltigkeitsthemen können abschließend nicht eindeutig beantwortet werden: schon bei den fünf genauer betrachteten Berichten zeigen sich teils große Differenzen hinsichtlich der Themen, auf die eingegangen wird, und der Kommunikationsform (Bereitstellung, Aufbereitung, Ausführlichkeit, usw.). Es lässt sich jedoch festhalten, dass die Themen in den meisten Internetunternehmen grundsätzlich eine Rolle spielen. Die Tatsache, dass, trotz fehlender gesetzlicher Verpflichtungen und Standards, Nachhaltigkeitsberichte von Internetunternehmen veröffentlicht werden, bringt die Themen „IT / Internet" und „Umwelt / Nachhaltigkeit" in einen Zusammenhang.

Bisher werden die Themen der Umwelt- und Nachhaltigkeitsinformatik noch nicht explizit in den Berichten aufgegriffen. Hier wird zukünftig ein hohes Potential gesehen. Dafür wäre zunächst die Frage zu klären, ob überhaupt Wissen in dem Bereich in den Unternehmen vorhanden ist. Weitere, daran anschließende, Fragestellungen könnten sein: Wie finden Themen der Umwelt- und Nachhaltigkeitsinformatik Eingang in die Unternehmen? Wie kann das Wissen und daraus resultierende Maßnahmen in die Berichte aufgenommen werden, um so auch Verbraucher darauf aufmerksam zu machen?

Literaturverzeichnis

[BU16] Bundesministerium für Arbeit und Soziales: CSR - Aktivitäten der Bundesregierung - Die neue Richtlinie zur Berichterstattung über nichtfinanzielle Informationen (sog. CSR-Richtlinie) für mehr Unternehmenstransparenz in Europa. http://www.csr-in-deutschland.de/DE/Politik/CSR-national/Aktivitaeten-der-Bundesregierung/CSR-Berichtspflichten/richtlinie-zur-berichterstattung.html, 06.05.2017.

[CO15] Cook, G.; Pomerantz, D.; Wang: Clicking Clean: A Guide to Building the Green Internet. 2015 Update. http://www.greenpeace.org/usa/Global/usa/planet3/PDFs/2015 clickingclean.pdf.

[EN16] Engemann, M.; Grah, A.: Wildwuchs der Nachhaltigkeitsberichte – mangels Vorgaben. https://www.heise.de/newsticker/meldung/Wildwuchs-der-Nachhaltigkeitsbe

richte-mangels-Vorgaben-3153916.html, 06.05.2017.

[FI14] Fifka, M.: CSR und Reporting: Nachhaltigkeits-und CSR-Berichterstattung verstehen und erfolgreich umsetzen. Springer-Verlag, 2014.

[FR10] Freundlieb, M.; Teuteberg, F.: Status Quo der internetbasierten Nachhaltigkeitsberichterstattung. In Multikonferenz Wirtschaftsinformatik 2010, 2010; S. 347.

[HO16] Hoffmann, E.; Dietsche, C.; Westermann, U.; Scholl, G.: Nachhaltigkeitsberichterstattung in Deutschland. Ergebnisse und Trends im Ranking der Nachhaltigkeitsberichte 2015. http://www.ranking-nachhaltigkeitsberichte.de/data/ranking/user_upload/2015/Ranking_Nachhaltigkeitsberichte_2015_Ergebnisbericht.pdf.

[IS07] Isenmann, R.: Online-Nachhaltigkeitsberichterstattung: Trends, Gestaltungschancen, Befunde und Fallstricke. In (Godemann, J.; Michelsen, G. Hrsg.): Handbuch Nachhaltigkeitskommunikation. Grundlagen und Praxis. Oekom-Verl., München, 2007.

[IS14] Isenmann, R.: Die Rolle des Internets für die Nachhaltigkeitsberichterstattung-vom Distributionskanal zum zentralen Einstiegsknoten: CSR und Reporting. Springer, 2014; S. 107–123.

[IS15] Isenmann, R.; Remmer, S.; Zinn, S.: Digitalisierung und IKT in der Nachhaltigkeitsberichterstattung von Hochschulen in Deutschland-terra incognita?: GI-Jahrestagung, 2015; S. 469–482.

[JO15] Johnson, M.; Schaltegger, S.: Nachhaltigkeitsmanagement-Software. In Software und webbasierte Ansätze zur Integration unternehmerischer Nachhaltigkeit in kleinen und mittleren Unternehmen. Herne: NWB, 2015.

[KE15] Kern, E.: Kommunikationsmöglichkeiten für Aspekte der Nachhaltigkeitsinformatik. In Workshop Umweltinformatik zwischen Nachhaltigkeit 2015, 2015.

[MU16] Mumm, G.: Die deutsche Nachhaltigkeitsstrategie. Neuauflage 2016. www.deutsche-nachhaltigkeitsstrategie.de.

[RA09] Rashid, N. R. N. A.: Awareness of eco-label in Malaysia's green marketing initiative. In International Journal of Business and Management, 2009, 4; S. 132.

[RA14] Leitfaden zum Deutschen Nachhaltigkeitskodex. Orientierung für mittelständige Unternehmen, Gütersloh, 2014.

[RO05] Rotherham, T.: The trade and environmental effects of ecolabels: Assessment and response. In United Nations Environment Programme, 2005.

[SÜ09] Süpke, D.; Gómez, J. M.; Isenmann, R.: Web 2.0 for sustainability reporting: Approach to refining communication on sustainability. In Environmental Informatics and Industrial Environmental Protection: Concepts, Methods and Tools, 2009; S. 235–243.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 1985

Integration von Usability-Methoden in Vorgehensmodelle der Softwareentwicklung im Kontext betrieblicher Umweltinformationssysteme

Felix Hemke[1] und Volker Wohlgemuth[2]

Abstract: Der vorliegende Beitrag gibt einen Überblick über verschiedene Vorgehensmodelle zur Softwareentwicklung und stellt die jeweilige Einbindung der Benutzerperspektive in Form der Usability Evaluation dar. Eine Analyse der Vor- und Nachteile des Status Quo soll Verbesserungspotentiale in diesem Bereich aufzeigen, die für die Entwicklung betrieblicher Umweltinformationssysteme (BUIS) vorgeschlagen werden.

Keywords: Softwareentwicklungsmodelle, Usability, betriebliche Umweltinformationssysteme

1 Einleitung

Eine bedeutende Herausforderung in der Softwareentwicklung besteht darin, Design-Entscheidungen zu treffen, die die Benutzer in Form der Benutzungsschnittstelle direkt betreffen und für den Erfolg der Anwendung maßgeblich sind. Im schlechtesten Fall basieren die Design-Entscheidungen lediglich auf den eigenen Erwartungen und Annahmen der Entwickler sowie auf einer unzureichenden Einbindung der Benutzer selbst, was schnell zu einer problematischen Usability führen kann.

„Software-Anwendungen oder Produkte weisen eine hohe Usability auf, wenn sie von den vorgesehenen Benutzern einfach erlernt und effizient verwendet werden können und diese damit ihre beabsichtigten Ziele und Aufgaben zufriedenstellend ausführen können." [Ric131]

Es gibt eine Vielzahl von Methoden zur Einbindung von Benutzern in die Entwicklungsprozesse. Dazu zählen etwa die Modellierung von Use Cases, Usability-Tests, Contextual Inquiry und die Heuristische Evaluation [Sar11]. Gerade Unternehmen, die die ersten Versionen von bis heute existierender Software in den 80er oder 90er Jahren begonnen haben, sehen sich mit großen Herausforderungen konfrontiert. Sie tendieren heute, wo das Thema Usability aus der Softwareentwicklung nicht mehr wegzudenken ist, dazu, ein Bündel aus Methoden auf bestehende Softwareprodukte anzuwenden und somit die Benutzerfreundlichkeit in ein weitestgehend fertiges Produkt im Nachhinein zu integrieren. Häufig erfolgt

[1] HTW Berlin, Fachbereich 2: Ingenieurwissenschaften – Technik und Leben, Wilhelminenhofstraße 75A, 12459 Berlin, felix.hemke@htw-berlin.de
[2] HTW Berlin, Fachbereich 2: Ingenieurwissenschaften – Technik und Leben, Wilhelminenhofstraße 75A, 12459 Berlin, volker.wohlgemuth@htw-berlin.de

doi:10.18420/in2017_198

die Umsetzung in einmaligen Projekten. Was ist aber, wenn die Einbindung der Benutzerperspektive ergibt, dass das ganze Datenmodell einer Anwendung der Umsetzung im Sinne der Benutzer entgegensteht oder andere grundlegende Designentscheidungen revidiert werden müssen? Die Lösung liegt darin, die Benutzer in den generell fortlaufenden Entwicklungsprozess einzubinden [Möl10]. Usability Engineering stellt einen Prozess dar, der parallel zur klassischen Planungs- und Entwicklungsarbeit abläuft und die spätere Gebrauchstauglichkeit eines Systems sicherstellen soll [Ram16] (siehe Abb. 1).

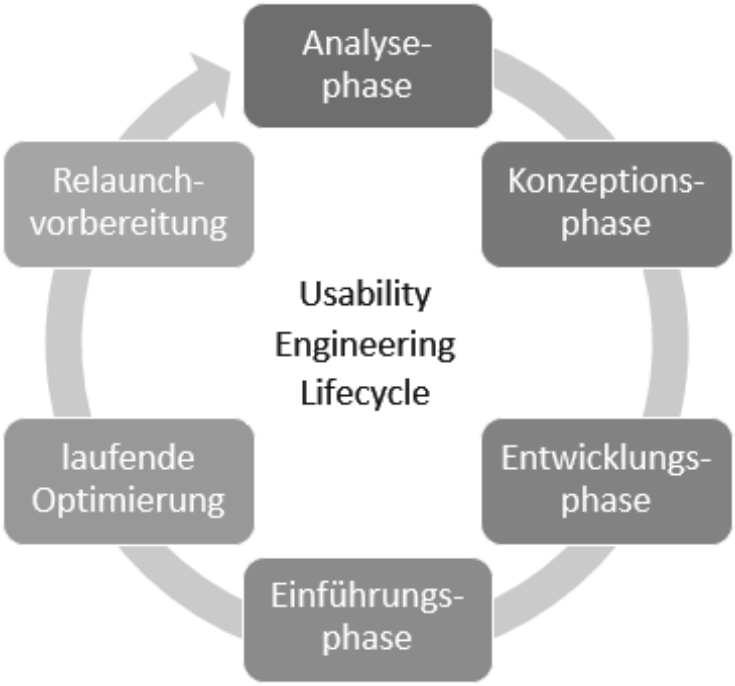


Abb. 1: Phasen des Usability Engineerings nach [Ram16]

Eine beispielhafte Methode des Usability-Engineerings ist die Erstellung von Personas. Dabei handelt es sich um typische Nutzermodelle, die Personen aus einer Zielgruppe charakterisieren, um deren Perspektive bei der Entwicklung zu berücksichtigen. Das generelle Ziel des Usability Engineerings ist die Einpassung eines Produktes in die Welt der Benutzer. In der Usability-Fachwelt gilt es deshalb als ein wichtiger Erfolgsfaktor, die Benutzer bereits in einem möglichst frühen Entwicklungsstadium einzubeziehen [Nie12]. Im besten Fall ist dies, noch bevor ein Prototyp oder ein Codefragment entwickelt wurde. Doch stellt sich die Frage, wenn das Usability-Engineering parallel zum sonstigen Entwicklungsprozess ablaufen soll, wie die Ergebnisse der Benutzereinbindung zuverlässig in die fortlaufenden Entwicklungsentscheidungen einfliessen können. Eine nebenläufige Betrachtung des Usability-Engineering zum Softwareengineering birgt die

Gefahr, dass es zu Kommunikations-, Zuständigkeits- oder Terminplankonflikten oder anderen Abstimmungsschwierigkeiten kommt. Vielmehr muss eine integrierte Betrachtung von Methoden zur Steigerung der Usability innerhalb des Softwareentwicklungsprozesses erfolgen. Der vorliegende Beitrag soll deshalb untersuchen, wo die Einbindung des Usability-Engineerings bisher in bestehenden Softwareentwicklungsprozessen zu verorten ist und wie eine bessere Verschmelzung der bisher parallel ablaufenden Prozesse gelingen kann. Mit dem relativ neuen Ansatz der User Story Map wird außerdem ein Konzepte vorgestellt, das dabei helfen kann, die Verbesserung der Usability im Entwicklungsprozess zu verankern. Zunächst wird auf die besondere Situation im Bereich betrieblicher Umweltinformationssysteme eingegangen. Anschließend wird vorgestellt, wo die Anwendung von Usability-Methoden in gängigen Softwareentwicklungsmodellen vorgesehen ist.

2 Bedeutung von Usability in betrieblichen Umweltinformationssystemen

Der Großteil der heute bestehenden Softwareanwendungen mit einem Fokus auf betrieblichem Umweltschutz existiert etwa seit Anfang bis Mitte der 1990er Jahre, bspw. das seit 1991 von SAP Modul Environment, Health and Safety (SAP EH&S) und die seit 1993 entwickelte Anwendung Umberto des Instituts für Umweltinformatik Hamburg (vgl. [Haa951], [Haa95], [Sch96]). Die als betriebliche Umweltinformationssysteme (BUIS) bezeichneten Softwareanwendungen erfassen Umweltauswirkungen von betrieblichen Prozessen, bilden sie ab und bewerten sie, um die Generierung, Planung und Steuerung von Umweltschutzmaßnahmen und das Umweltmanagement zu unterstützen (vgl. [Woh05]). Viele BUIS fallen damit in das eingangs beschriebene Problemfeld von Anwendungen, deren Version 1.0 vor der Etablierung von agilen Softwareentwicklungs- und Usability-Konzepten im Massenmarkt, entwickelt wurden.

Eine Studie zu Managementsystemen und dem Management natürlicher Ressourcen unter 350 Unternehmen fünf unterschiedlicher Branchen des VDI Zentrums Ressourceneffizienz [VDI17] hat ergeben, dass der Einsatz von Softwareanwendungen zur Unterstützung von Ressourcen- und Energieeffizienzmaßnahmen eher gering ist. So setzen derzeit 30,4% der befragten Unternehmen ein zertifiziertes und 20,5% ein nicht zertifiziertes Softwaresystem für das Umweltmanagement ein, wobei deren Einsatz gerade bei kleinen und mittleren Unternehmen mit 20 bis 249 Mitarbeiten noch geringer ausfällt. Wenngleich diese Anteile relativ hoch erscheinen, muss man einschränkend feststellen, dass die befragten Unternehmen eine relativ hohe Affinität zum Thema Umwelt- und Energiemanagement aufweisen und mit unter *nicht zertifizierten Softwaresystemen* bereits Excel-Dateien, die Ressourcen- oder Energiewerte erfassen, verstanden werden können. Relevante Daten zum Material- und Energieverbrauch, werden nur von einer schwachen Mehrheit der befragten Unternehmen (zwischen 51 und 64,8 Prozent je nach Kennzahl und Betriebsgröße) beobachtet und kontrolliert. Umfassende Instrumente wie Ökobilanzen oder CO2-Bilanzierungen kommen selten zum Einsatz. Die Anwendungen

kommen damit ihrem Vorhaben, der Verbesserung der Umweltauswirkungen der befragten Unternehmen, noch nicht im vom VDI erwünschten Maße nach. Vorgeschlagen werden in der Studie zuletzt u. a. Hilfestellungen und einfachere Lösungsansätze, gerade für KMU. Die Befragung der Studienteilnehmer zu den Gründen für die fehlende flächendeckende Ausbreitung von Umweltmanagementsystemen hat u.A. folgendes ergeben [VDI17]:

- Die Datenerfassung stellt einen zu hohen personellen Aufwand im betrieblichen Alltag dar,
- demgegenüber besteht ein schlechtes bzw. nicht kalkulierbares Kosten-Nutzen-Verhältnis,
- verbunden mit hohen Kosten zur Einführung eines Managementsystems.
- Außerdem bedeutet die oftmals zu geringe Qualifikation der Mitarbeiter eine Notwendigkeit zur Einbindung von externen Beratern

Bei der Reduzierung des Aufwands zur Nutzung der Softwareanwendungen spielt die Benutzerfreundlichkeit eine Schlüsselrolle. Eine gute Usability einer Software und eine damit einhergehende intuitive Bedienung durch die Benutzer verringern den Aufwand zum Erlernen bzw. Wiedererlernen und senken die Fehlerraten und den Supportaufwand (vgl. [Ric13]). Wenn die Softwareentwickler die Schwierigkeiten der unterschiedlichen Benutzergruppen im Vorfeld genau einschätzen können, könnten sie diese durch entsprechende Vorkehrungen reduzieren. So kann der Workflow der Anwendung auf die Arbeitsweise der Benutzergruppen angepasst werden, es können verbesserte Hilfemodule bereitgestellt werden und wiederkehrende Arbeitsschritte mittels Einrichtungsassistenten und Templates unterstützt werden.

In diesem Kontext wird die These aufgestellt, dass eine Verbesserung der Usability von BUIS, bedingt durch eine höhere Effizienz und Effektivität der Benutzung und eine höhere Zufriedenheit der Benutzer, eine verbesserte Datenlage und Auswertung nach sich ziehen und damit einen Beitrag zur Steigerung der Nachhaltigkeit im Unternehmen leistet.

3 Einordnung der Usability-Evaluation in bestehende Softwareentwicklungsmodelle

3.1 Wasserfallmodell

Das erste Vorgehensmodell, das bis zur Entwicklung agiler Modelle weitläufig in der Software-Entwicklung eingesetzt wurde, ist das Wasserfallmodell [Kuh12]. Es sieht eine Entwicklung in fünf bzw. sieben chronologisch ablaufenden Phasen vor. Je nach Variante werden die Anforderungen an die Software in der ersten (Anforderungsanalyse) bzw. der

zweiten Phase (Softwareanforderungsanalyse) durch die Auftraggeber und andere bedeutende Stakeholder definiert. Das Ergebnis wird in der Regel in einem Lastenheft dokumentiert. Aus Benutzerperspektive hat dieses Vorgehen entscheidende Nachteile:

- Die Auftraggeber/Stakeholder sind nicht gleichbedeutend mit den Endanwendern und können die Bedürfnisse dieser oftmals nur durch Annahmen abschätzen.
- Die Beteiligung von Benutzern ist hier allenfalls in der Definitionsphase vorgesehen.
- Es handelt sich um ein chronologisches (nicht iteratives) Vorgehensmodell, so dass es keine Möglichkeiten zur Korrektur gibt, wenn die Anwender nach der Umsetzung der Anforderungen feststellen, dass das Ergebnis nicht den eigenen Erwartungen entspricht.

3.2 V-Modell

Basierend auf dem Wasserfallmodell wurde anschließend das V-Modell entwickelt [Kuh15], welches zu jeder Entwicklungsphase eine Teststufe vorsieht und damit eine einmalige nachträgliche Evaluation der Anforderungen ermöglicht, ansonsten jedoch ähnliche Schwächen bezüglich der Integration der Benutzeranforderungen mittels Usability-Methoden aufweist. Insgesamt lässt sich für die beide Modelle feststellen, dass sie zwar relativ leicht anzuwenden sind. Jedoch, sehen die Endanwender das Produkt erst ganz am Ende und stellen dann häufig fest, dass zwischen der Anforderungsanalyse und der Realisierung des Endproduktes Entscheidungen getroffen wurden, die nicht in ihrem Sinne sind. Aufgrund des linearen Ablaufs und der fehlenden Rückkopplungen sind beide Modelle eher ungeeignet, um sie für eine prozesshafte Integration der Interessen der Benutzer in den Entwicklungsprozess einzusetzen. Ein iteratives Design-Vorgehen ist als erfolgsversprechender anzusehen [Nie12].

3.3 Agile Prinzipien

Als Alternativen, die ein iteratives Vorgehen beinhalten, haben agile Entwicklungsprinzipien im letzten Jahrzehnt an Bedeutung gewonnen, wobei das Scrum-Modell die größte Bedeutung zur Umsetzung der agilen Prinzipien eingenommen hat [Dau15]. Die gemeinsame Nutzung von Usability-Methoden und agilen Entwurfsmodellen gilt große Herausforderung, für die es bisher noch keine Universallösung gibt [Lor17]. Aus Benutzerperspektive ist im Scrum-Modell als problematisch anzusehen, dass die Rollen in einem klassischen Scrum-Team keine feste Integration von Benutzern vorsehen (vgl. [Sch07]):

- Der Product-Owner vertritt die fachliche Auftraggeberseite für die Anwendung.
- Der Scrum-Master sorgt dafür, dass der Scrum-Prozess korrekt umgesetzt wird.

- Das Scrum-Team besteht aus Entwicklern, Architekten, Testern, technischen Redakteuren.
- Die Vertreter der Rollen werden dabei in sog. „Pigs and Chickens“ (auf Deutsch „Schweine und Hühner“, vgl. [Sch07]) eingeteilt, wobei die Pigs selbst an der Umsetzung der Arbeiten beteiligt sind und größere Entscheidungsbefugnisse besitzen, wohingegen Chickens relativ unbeteiligte Personen sind, die zwar involviert werden, aber letztlich keine bedeutende Verantwortung übernehmen.

Diese Übersicht macht deutlich, dass zwar die Kundenseite prinzipiell durch den Product-Owner repräsentiert wird, was aber nicht gleichbedeutend mit den Endanwendern ist. Außerdem macht die Einteilung in Pigs and Chickens deutlich, dass im klassischen Scrum-Modell vor Allem jene Personen ein Entscheidungsrecht haben, die an der Umsetzung der Entwicklungsarbeiten maßgeblich beteiligt sind. Eine Möglichkeit besteht darin, das Scrum-Team um Benutzer und Usability-Experten zu ergänzen oder dem Product-Owner einen Usability Engineer als Coach zur Seite zu stellen [Mem09].

Die Aufgaben werden in sog. Sprints bearbeitet, wobei zu jedem Sprint neben der Entwicklung und Dokumentation das iterative Testen gehört. Dadurch wird der Aufwand für notwendige Anpassungen kleiner als wenn die Tests erst am Ende der Entwicklung erfolgen. Nach [Lor16] sollten neben den Funktions-, Integrations- und Systemtests iterative Usability-Tests in möglichst jedem Sprint eingesetzt werden.

3.4 Einbindung von Usability-Methoden in Scrum

Das Scrum Vorgehensmodell beinhaltet keine vom Umfang her mit dem Wasserfallmodell vergleichbare Analysephase. Die Anforderungen werden vielmehr im Laufe der Entwicklung Schritt für Schritt spezifiziert und im Product Backlog dokumentiert. Besondere Relevanz zur besseren Verbindung von Usability-Methoden mit agilen Entwicklungskonzepten hat der Ansatz, Prototypen und Klick-Dummys in der Konzeptionsphase zu nutzen, um im Scrum-Team noch vor Beginn der Entwicklung zu ermitteln, ob die Konzeptideen Anforderungen der Benutzer tatsächlich erfüllen [Str12].

Die Erstellung der Product Backlogs eignet sich darüber hinaus gut zur Einbindung von Usability Methoden, wie der User Story Map von Jeff Patton [Pat08] (siehe Abb. 2).

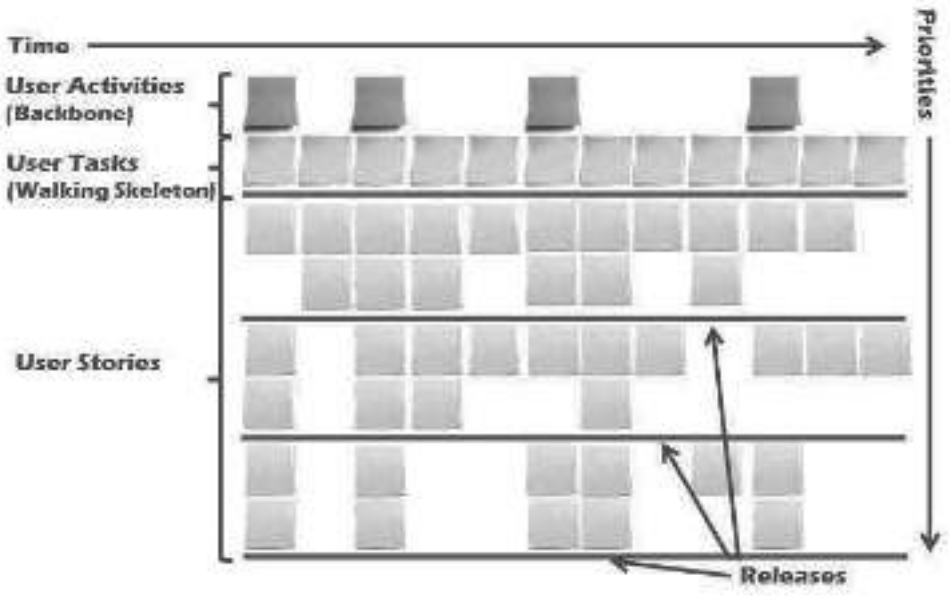


Abb. 2: User Story Maps nach Patton (Quelle: Steve Rogalsky)

User Story Maps stellen eine Entwicklungstechnik dar, mit der gemeinsam im Team User Storys erstellt werden können, die die Anforderungen an die Anwendung in der Sprache der Benutzer beinhalten. Das Ergebnis besteht aus horizontal angeordneten:

- Activities/Epics, die die wichtigsten übergeordneten Ziele der Benutzer im Workflow mit der Anwendung darstellen.
- Tasks, die die Activities in kleinere, überschaubarere Einheiten aufteilen. Ein Task stellt aus Benutzersicht eine Tätigkeit da, um das Ziel, das mit der Anwendung verfolgt wird, zu erreichen.
- User Stories stellen in Alltagssprache formulierte kurze Software-Anforderungen dar. Sie bilden die Activities in granularer Form ab.

User Story Maps haben zum Zweck, die Anforderungen der Benutzer möglichst fein durchzuplanen, ohne dabei von den übergeordneten Zielen der Anwendung abzuweichen. Außerdem sind sie gut geeignet, um sie mit fachlich sehr heterogenen Teams zu erstellen. Dadurch lassen sich die Ideen von Entwicklern, Testern, Anwendern, Designern und Controllern gleichermaßen berücksichtigen.

4 Fazit

Eine integrierte Betrachtung von Usability-Methoden in den Softwareentwicklungsprozess stellt sicher, dass die Anwendung die Anforderungen der Benutzer erfüllt und durch diese effizient und effektiv genutzt werden kann. Außerdem macht das Arbeiten mit einer intuitiv am Nutzer orientierten Anwendung mehr Spaß. Gerade bei BUIS hängt der weitere Erfolg bei der Ausbreitung im betrieblichen Alltag maßgeblich davon ab, dass der Aufwand zur Einarbeitung und Nutzung möglichst verringert wird. Die größte Herausforderung in diesem Bereich besteht darin, in langjährig bestehenden Entwicklungsstrukturen ein neues Paradigma zu berücksichtigen, in dem die Benutzer bereits von Anfang an in den Entwicklungsprozess integriert werden. Konsequenterweise bedeutet das, dass einige Anwendungen aus diesem Bereich von Grund auf neu entwickelt werden müssten, da technische Limitierungen ein benutzerfreundliches Redesign verhindern können. Eine Einbindung der Benutzerperspektive hat das Potential, dass die Anwendungen ihrem eigentlichen Zweck, der Reduzierung von negativen betrieblichen Umweltauswirkungen, besser gerecht werden. Beispielsweise könnte die fehlende Datenbasis zur Umsetzung von Umweltmanagemententscheidungen dadurch verbessert werden, dass mobile Datenerfassungswerkzeuge entwickelt werden, die einen spielerischen Ansatz mitbringen und so ein gesteigertes Interesse bei den Benutzern wecken, umweltrelevante Daten zu erfassen. Die Einbindung von Usability-Methoden ist zwar prinzipiell in jedem Entwicklungsmodell möglich, jedoch eignen sich agile Entwicklungsmethoden wie Scrum besonders gut, da sie iterierbar sind und die Vorgaben keine strikten Gesetzmäßigkeiten darstellen, sondern sie bewusst sehr flexibel für Änderungen sind.

Literaturverzeichnis

[Dau15] Daut P. (2015): computerwoche. https://www.computerwoche.de/a/scrum-und-co-auch-agile-methoden-lassen-sich-skalieren,3219768, zuletzt geprüft 2017.

[Haa95] Haasis H.-D.; Hilty L.M.; Kürzl H. et al. (1995): Betriebliche Umweltinformationssysteme, Projekte und Perspektiven. Umweltinformatik aktuell, Bd. 5. Marburg: Metropolis-Verlag.

[Haa951] Haasis H.-D.; Hilty L.M.; Hunscheid J. et al. (1995): Umweltinformationssysteme in der Produktion. Umweltinformatik aktuell, Bd. 6. Marburg: Metropolis-Verlag.

[Kuh12] Kuhrmann M. (2012): Enzyklopädie der Wirtschaftsinformatik - Wasserfallmodell. http://www.enzyklopaedie-der-wirtschaftsinformatik.de/lexikon/is-management/Systementwicklung/Vorgehensmodell/Wasserfallmodell, zuletzt geprüft am 12.05.2017.

[Kuh15] Kuhrmann M. (2015): Enzyklopädie der Wirtschaftsinformatik - V-Modell XT. http://www.enzyklopaedie-der-wirtschaftsinformatik.de/lexikon/is-management/Systementwicklung/Vorgehensmodell/V-Modell-XT, zuletzt geprüft am 12.05.2017.

[Lor16] Loranger H. (2016): Top 10 Tips for UX Success From Agile Practitioners. https://www.nngroup.com/articles/ux-success-agile/, zuletzt geprüft 2017.

[Lor17] Loranger H. und Laubheimer P. (2017): The State of UX Agile Development. https://www.nngroup.com/articles/state-ux-agile-development/, zuletzt geprüft 2017.

[Mem09] Memmel T. (2009): Agile + Usability: Produkte mit hoher Bedienqualität agil entwickeln. http://www.usabilityblog.de/2009/08/agile-usability-produkte-mit-hoher-bedienqualitat-agil-entwickeln-teil-2/, zuletzt geprüft 2017.

[Möl10] Möller S. (2010): Quality Engineering. Berlin: Springer. S. 57.

[Nie12] Nielsen J. (2012): Usability 101: Introduction to Usability. https://www.nngroup.com/articles/usability-101-introduction-to-usability/, zuletzt geprüft 2017.

[Pat08] Patton J. (2008): The New User Story Backlog is a Map. http://jpattonassociates.com/the-new-backlog/, zuletzt geprüft 2017.

[Ram16] Rampl H. (2016): Handbuch Usability. http://www.handbuch-usability.de/usability-engineering.html, zuletzt geprüft 2017.

[Ric13] Richter M. und Flückiger M. (2013): Usability Engineering kompakt. Berlin Heidelberg: Springer Vieweg. S. 4.

[Sar11] Sarodnick F. und Brau H. (2011): Methoden der Usability Evaluation. Frankfurt, München: Verlag Hans Huber. S. 119-203.

[Sch07] Schwaber K. (2007): Agiles Projektmanagment mit Scrum. München: C.H.Beck.

[Sch96] Scheer A.-W.; Haasis H.-D.; Hilty L.M. et al. (1996): Computergestützte Stoffstrommanagement-Systeme. Umweltinformatik aktuell, Bd. 8. Marburg: Metropolis-Verlag.

[Str12] Struckmeier A. (2012): Iterativ testen – Warum eigentlich? http://www.usabilityblog.de/2012/09/iterativ-testen-warum-eigentlich/, zuletzt geprüft 2017.

[VDI17] Ressourceneffizienz V.Z. (2017): Ressource Deutschland. http://www.ressource-deutschland.de/fileadmin/user_upload/downloads/studien/VDI_ZRE_Studie_Managementsysteme_und_das_Management_natuerlicher_Ressourcen.pdf, zuletzt geprüft 2017.

[Woh05] Wohlgemuth V. (2005): Komponentenbasierte Unterstützung von Methoden der Modellbildung und Simulation im Einsatzkontext des betrieblichen Umweltschutzes. Hamburg: Shaker Verlag.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 1995

Digitalisation for sustainability? Challenges in environmental assessment of digital services

Johanna Pohl[1] and Matthias Finkbeiner[2]

Abstract: The expectations for Information and Communication Technology (ICT) to tackle climate change are massive, but successful implementation is by no means assured. Contrasting resource saving potential of ICT, energy and resource demand of end-user devices and digital services are growing. The overall question is, how great must the net enabling effects of specific digital services be in order to balance or exceed direct effects of ICT devices and the infrastructure used. To contribute to a more coherent assessment of digitalisation´s implications for sustainability, the authors suggest the following points: to cover all potential impacts, an environmental assessment of ICT has to follow a life cycle approach. Both ICT infrastructure as well as changing use patterns (direct rebound effects) have to be included into the system boundaries; only addressing energy issues is not sufficient. In addition, the material basis and resulting environmental and social impacts from mining, production and disposal have to be addressed.

Keywords: ICT, direct effects, enabling effects, rebound effects, environmental assessment

1 Background

Digitalisation and Information and Communication Technology (ICT) use is spreading, and it goes hand in hand with the massive energy saving potential through optimisation and virtualisation [Mi10]. Many see them as the solution to the energy crisis and climate change [We17; HA15; OE 2015]. ICT is thereby widely seen as a key enabling technology: environmental impacts can be reduced by using *green ICT* (ICT with a better environmental performance) and *ICT for green* (ICT as an enabler for other processes to have a better environmental performance). The expectations on digitalisation are massive, but with all factors considered, what is the real impact on the environment? The paper at hand will thus focus on the following questions: has resource use decreased so far thanks to ICT, and what are the chances it will do so in the future? What are the challenges when assessing the environmental and sustainable impact of ICT?

Environmental effects of ICT can be divided into direct effects (first order), enabling effects (second order) and structural effects (third order) [Mi10]. While direct effects trace back to production, use and end-of-life treatment of ICT, second order effects refer to enabling effects due to the application of ICT on a micro perspective, such as optimisation, virtualisation or substitution. Third order effects are concerned with the societal structures

[1] TU Berlin, Center for Technology and Society, Hardenbergstr. 16-18, 10623 Berlin, pohl@ztg.tu-berlin.de
[2] TU Berlin, Chair of Sustainable Engineering, Straße des 17. Juni 135, 10623 Berlin, matthias.finkbeiner@tu-berlin.de

doi:10.18420/in2017_199

and the economy [Mi10]. For slightly different taxonomies see [Ho16] or [HA15]. In the following review, only direct and enabling effects of ICT will be considered, as it is focusing on consumer-side environmental effects of ICT. ICT here will be divided into end-user devices and ICT infrastructure (network infrastructure, data centre computation and storage).

2 ICT between resource optimisation and resource demand

Despite the promise of *green ICT* and *ICT for green* to contribute to a reduction of resource usage, the overall energy demand of ICT has increased continuously over the last few years from 3.9 % in 2007 to 4.6 % in 2012 in terms of total worldwide electricity consumption [Va14]. Although the relative energy efficiency of devices itself strongly improved, the total amount of energy increased. This is due to numbers of end-user devices and digital services used worldwide increasing significantly, with numbers continuing to increase [AE15]. Concerning future trends of ICT's energy demand, predictions range from a decrease due to further increasing energy efficiency of devices [ML16; St15] and an increase due to strongly increasing energy demand of ICT infrastructure [AE15; Ha16; Va14].

Estimations on ICT's enabling effects and its implications for the environment are rare [Im08; EH10; Sm15]. For example, calculations by the Global e-Sustainability Initiative (GeSI) expect ICT's reduction potential in other economic fields to be 20 % of global CO_2 emissions until 2030 [Sm15]. Methodically, the authors offset actual direct effects of ICT against hypothetically avoided indirect effects in other fields. Further impacts caused by specific applications, which might lead to differences between potential and actual reduction, were not considered [Hi14].

3 Challenges

At the moment, we are able to assess the growing environmental impact of increased direct effects of ICT. However, enabling effects in a complex and connected world are hard to estimate. With this in mind, we propose that the overall assessment should measure, how great net enabling effects of specific digital services must be in order to balance or exceed direct effects of ICT devices and infrastructure used. Five points shall be highlighted, which are crucial in assessing enabling effects of ICT towards sustainability:

1. *Life Cycle Perspective:* The assessment of ICT's environmental impacts is still conducted in various ways [Ar14]. To cover all potential impacts and to contribute to an overall comparability of results, the environmental assessment has to occur during all phases of the product life cycle. Depending on the life span and the use scheme, both the use phase and the production phase can be decisive for overall results [Ar14; CA13]. A tool for assessing all potential impacts of a service is Life

cycle assessment (LCA). The research community currently works on harmonising LCA methods measuring direct effects of ICT [An11]. Further methodological challenges exist when defining system boundaries, collecting inventory data, or defining allocation rules [Hi14].

2. *Estimating ICT infrastructure*: As digital services become more and more relevant, we face upstream-shifting of electricity demand and resources used from users to providers of digital services and infrastructure [AE15]. This goes hand-in-hand with an upstream-shifting of environmental impacts. While assessing direct impacts of ICT, effects due to ICT infrastructure must not be underestimated. However, what makes the particular assessment more complicated, are structural changes in data centre architecture [Sc15; Hi15] or unknown material basis of data centres [HC16]. Consequential life cycle assessment could be an approach to assess these more complex and dynamic systems [EH11].

3. *Integrating Rebound Effects:* Next to positive net effects of ICT application (e.g. enabling effects reducing resource use by optimising other processes), negative effects of ICT application also need to be addressed, that happen precisely because of an increase of efficiency – the rebound effect. The most common classification of rebound effects distinguishes between direct rebound effects, which lead to additional consumption of the same good, and indirect rebound effects, which lead to additional consumption of other goods. A third category counts economy-wide rebounds [Sa16]. How to integrate rebound effects into environmental assessment of ICT has already been identified as a research gap by some researchers [Bö14; Fi14; Ho16]. In current taxonomies of environmental effects of ICT, rebound effects are mostly considered as third order effects [HA15; Mi10], which does not reflect all types of rebounds. Direct rebound effects occur on end-consumer level and thus need to be included into the environmental assessment of ICT's enabling effects. This calls for enhanced methods. In order to estimate these rebound effects, changing usage patterns need to be included into the environmental assessment [Po16], indicating the need for interdisciplinary approaches. By using consequential life cycle assessment, potential changes in the environment due to rebound effects could be integrated [Be14; EH11; FV14].

4. *Resource use and environmental degradation:* Currently, environmental assessment of ICT devices and digital services focuses mainly on electricity demand and related emissions [AE15; Ar14; Sm15], thus neglecting the material basis of ICT. With growing numbers of ICT devices, the issues of availability of resources and resource depletion become more and more important. Global production of smartphones and tablets demands between 8 to 10 % of the world's primary production of cobalt and palladium. Furthermore, the ICT sector is also relevant for global demand of tantalum, silver, gold, indium and magnesium [Ma16; Wä15]. In addition to resource depletion, further environmental impacts resulting from the mining, production and disposal of ICT devices need to be taken into account when assessing environmental impacts of ICT. Examples of these are land use, contamination of soil or water, or loss in biodiversity.

5. *Social Impacts:* The global production system of ICT devices comes with social impacts resulting from the mining, production and disposal [Ma16]. Deteriorated living conditions resulting from environmental degradation (4), poor working conditions, safety and health issues, corruption or involvement in areas with armed conflicts are part of the ICT sector [BP10; EF13]. These social impacts need to be taken into account, especially when assessing enabling impacts of ICT for sustainability.

4 Conclusion and Outlook

The process of digitalisation goes hand-in-hand with a massive growth in absolute numbers of end-user devices as well as data traffic, which currently leads to growing energy and resource demand. Whether this will be compensated by changed life span or use scheme of ICT devices (e.g. reuse or longer use of devices), improvements in resource efficiency of ICT itself and enabling effects in other economic fields, is by no means assured. As shown above, the current discussion on energy efficiency of devices and applications is not sufficient. In addition, the reduction potential of specific ICT applications depends on energy and materials used, user behaviour and further effects resulting from the application of ICT. Future research should address the challenges named in order to paint a more coherent picture of digitalisation´s implications for sustainability matters.

References

[An11] Andrae, Anders S. G.: European LCA Standardisation of ICT: Equipment, Networks, and Services. In (Finkbeiner, M.): Towards Life Cycle Sustainability Management, Springer, Dordrecht, S. 483–493, 2011.

[AE15] Andrae, Anders S. G.; Edler,T.: On Global Electricity Usage of Communication Technology: Trends to 2030. Challenges 6, Nr. 1, 117–157, 2015

[Ar14] Arushanyan, Y.; Ekener-Petersen, E.; Finnveden, G.: Lessons learned – Review of LCAs for ICT products and services. Computers in Industry 65, Nr. 2, S. 211–234, 2014.

[Be14] Benedetto, G.; Rugani, B.; Vázquez-Rowe, I.: Rebound effects due to economic choices when assessing the environmental sustainability of wine. Food Policy 49, S. 167–173, 2014.

[Bö14] Börjesson Rivera, M.; Håkansson, C.; Svenfelt, Å.; Finnveden, G.: Including second order effects in environmental assessments of ICT. Environmental Modelling & Software 56. Thematic issue on Modelling and evaluating the sustainability of smart solutions, S. 105–115, 2014.

[BP10] Bormann, S.; Plank, L.: Under pressure: working conditions and economic development in ICT production in Central and Eastern Europe. Berlin, WEED, 2010.

[CA13] Corcoran, P. M.; Andrae, A.: Emerging trends in electricity consumption for consumer ICT. National University of Ireland, Galway, Connacht, Ireland, Tech. Rep., 2013.

[EF13] Ekener-Petersen, E.; Finnveden, G.: Potential hotspots identified by social LCA—part

1: a case study of a laptop computer. The International Journal of Life Cycle Assessment 18, Nr. 1, S. 127–143, 2013.

[EH10] Erdmann, L.; Hilty, L.M.: Scenario Analysis: Exploring the Macroeconomic Impacts of Information and Communication Technologies on Greenhouse Gas Emissions. Journal of Industrial Ecology 14, Nr. 5, S. 826–843, 2010.

[EH11] Earles, J. M.; Halog, A.: Consequential life cycle assessment: a review. The International Journal of Life Cycle Assessment 16, Nr. 5, S. 445–453, 2011.

[Fi14] Finkbeiner, M. et. al.: Challenges in Life Cycle Assessment: An Overview of Current Gaps and Research Needs. In (Klöpfer, W.): Background and Future Prospects in Life Cycle Assessment, Springer, Dordrecht, S. 207–258, 2014.

[FV14] Font Vivanco, D.; Voet, E. van der: The rebound effect through industrial ecology's eyes: a review of LCA-based studies. The International Journal of Life Cycle Assessment 19, Nr. 12, S. 1933–1947, 2014.

[Ha16] Hazas, M.; Morley, J.; Bates, O.; Friday, A.: Are there limits to growth in data traffic?: On time use, data generation and speed. In: Limits´16. ACM. New York, S. 1–5, 2016.

[HA15] Hilty, L. M.; Aebischer, B.: ICT for Sustainability: An Emerging Research Field. In (Hilty, L. M.; Aebischer, B.): ICT Innovations for Sustainability. Springer International Publishing, Cham, S. 3–36, 2015.

[HC16] Hintemann, R.; Clausen, J.: Green Cloud? The current and future development of energy consumption by data centers, networks and end-user devices. In: ICT4S. Atlantis Press, S.109-115, 2016.

[Hi14] Hilty, L. M.; Aebischer, B.; Rizzoli, A.E.: Modeling and evaluating the sustainability of smart solutions. Environmental Modelling & Software 56: S.1–5, 2014.

[Hi15] Hintemann, R.: Consolidation, Colocation, Virtualization, and Cloud Computing: The Impact of the Changing Structure of Data Centers on Total Electricity Demand. In (Hilty, L. M.; Aebischer, B.): ICT Innovations for Sustainability. Springer International Publishing, Cham, S. 125–136, 2015.

[Ho16] Horner, N.C.; Shehabi, A.; Azevedo, I.L.: Known unknowns: indirect energy effects of information and communication technology. Environmental Research Letters 11, Nr. 10, 2016.

[Im08] BIO Intelligence Service: Impacts of ICT on energy efficiency, 2008.

[Ma16] Manhart, A. et al: Resource Efficiency in the ICT Sector. Greenpeace. 2016.

[Mi10] Mickoleit, A.: Greener and Smarter. ICTs, the Environment and Climate Change. Paris: OECD. 2010.

[ML16] Malmodin, J.; Lunden, D.: The energy and carbon footprint of the ICT and EaM sector in Sweden 1990-2015 and beyond. In: ICT4S. Atlantis Press, S.209-218, 2016.

[OE15] OECD: OECD Digital Economy Outlook 2015. OECD Publishing, Paris, 2015.

[Po16] Polizzi di Sorrentino, E.; Woelbert, E.; Serenella Sala, S.: Consumers and their behavior: state of the art in behavioral science supporting use phase modeling in LCA and ecodesign. The International Journal of Life Cycle Assessment 21, Nr. 2, S. 237–251, 2016.

[Sa16] Santarius, T.; Walnum, H.J.; Aall, C.: Introduction: Rebound Research in a Warming World. In (Santarius, T.; Walnum, H.J.; Aall, C.): Rethinking Climate and Energy Policies. Springer International Publishing, Cham, S. 1-14, 2016.

[Sc15] Schomaker, G.; Janacek, S.; Schlitt, D.: The Energy Demand of Data Centers. In (Hilty, L. M.; Aebischer, B.): ICT Innovations for Sustainability. Springer International Publishing, Cham, S. 113–124, 2015.

[Sm15] GeSI: Smarter 2030. ICT Solutions for 21st Century Challenges, Brüssel, 2015.

[St15] Stobbe, L. et. al.: Entwicklung des IKT-bedingten Strombedarfs in Deutschland.

Abschlussbericht. Fraunhofer IZM, Berlin, 2015.

[Va14] Van Heddeghem, W. et. al.: Trends in worldwide ICT electricity consumption from 2007 to 2012. Computer Communications 50, S. 64–76, 2014.

[Wä15] Wäger, P.A.; Hischier, R.; Widmer, R.: The Material Basis of ICT. In (Hilty, L. M.; Aebischer, B.): ICT Innovations for Sustainability. Springer International Publishing, Cham, S. 209–221, 2015.

[We17] BMWi: Weißbuch Digitale Plattformen: Digitale Ordnungspolitik für Wachstum, Innovation, Wettbewerb und Teilhabe, 2017.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 2001

Management von Daten im Rahmen des WISMUT-Umweltprojektes

Jana Götze[1], Elke Kreyßig[2], Peter Schmidt[3] und Mathias Haase[4]

Abstract: Die Verwaltung und Analyse großer Mengen an Daten und Informationen unterschiedlichster Herkunft stellt eine der Herausforderungen bei der Bearbeitung von Umweltgroßprojekten dar. Die bundeseigene Wismut GmbH mit ihrer europaweit einmaligen Uranbergbausanierung betreibt hierzu unter dem Namen AL.VIS/W ein umfang- und facettenreiches Dateninformationssystem. Es speichert und verbindet die anfallenden Daten, fügt Informationen (z. B. Raum- und Zeitbezüge) hinzu und macht sie für die elektronische Recherche verfügbar. Wismut setzt mit AL.VIS/W auf ein Intranet-basiertes Informationssystem, welches allen Mitarbeitern eine einheitliche Informations-Plattform bietet. In Summe dient das Informationssystem als Werkzeug für die Bewältigung von täglichen Arbeitsroutinen, unterstützt fortwährende Planungs- und Entscheidungsprozesse und ermöglicht die Wissensbewahrung nach Abschluss des Großprojektes. Entsprechend sich wandelnder Aufgaben unterliegt das Dateninformationssystem einem stetigen Prozess der Weiterentwicklung. Im Rahmen des vorliegenden Beitrages wird das System aus Sicht des Nutzers vorgestellt und auf die damit verbundenen Herausforderungen eingegangen.

Keywords: Uranbergbausanierung, Dateninformationssystem, Arbeitsmittel, Wissensbewahrung

1 IT-Aufgabe im Rahmen des Projektes

Die Wismut GmbH ist ein Unternehmen des Bundes. Es hat die Aufgabe, die bergbaulichen Hinterlassenschaften von mehr als 40 Jahren intensiver Gewinnung und Verarbeitung von Uranerzen zu sanieren. Betroffen sind davon die Bundesländer Sachsen und Thüringen, in denen insgesamt 1400 km offene Grubenbaue, 311 Mio. m³ Haldenmaterial und 160 Mio. m³ radioaktive Schlämme in dicht besiedelten Gebieten stillzulegen, sicher zu verwahren bzw. zu rekultivieren sind. Die Hinterlassenschaften des Uranerzbergbaus haben Umweltbelastungen verursacht, die durch die Sanierung beseitigt bzw. auf ein zulässiges Maß reduziert werden müssen. Die Aufgabe ist auch im internationalen Vergleich ein Großprojekt im Bergbau und Umweltschutz. Die Sanierung an insgesamt sieben Standorten (Königstein, Dresden-Gittersee, Schlema-Alberoda, Pöhla und Helmsdorf in Sachsen sowie Ronneburg und Seelingstädt in Thüringen) begann 1991 und währt mittlerweile mehr als 25 Jahre. Der Abschluss der letzten physischen

[1] Wismut GmbH, Abteilung Monitoring und Strahlenschutz, Jagdschänkenstr. 29, 09117 Chemnitz, J. Goetze@Wismut.de
[2] E.Kreysig@Wismut.de
[3] P.Schmidt@Wismut.de
[4] WISUTEC Umwelttechnik GmbH, Jagdschänkenstr. 50, 09117 Chemnitz, m.haase@wisutec.de

doi:10.18420/in2017_200

Sanierungsarbeiten wird voraussichtlich im Jahr 2028 erreicht sein. Wismut befindet sich derzeit im Übergang von der Kernsanierung zu den Langzeitaufgaben, die bis 2045 geplant sind [W15]. Beide Phasen umfassen u.a. Maßnahmen der Überwachung des Sanierungsfortschrittes und der damit verbundenen Umweltauswirkungen einschließlich deren Dokumentation. Im Rahmen dessen entsteht eine Vielzahl von Daten, welche die Objekte, Aktivitäten und Ergebnisse der Sanierung beschreiben. Diese bilden die Informationskomplexe [H07]

- Messdaten (z.B. Wasser-, Feststoff-, Luft-, Klima- sowie geotechnische und radiologische Daten)
- Dokumente (z.B. Genehmigungen, Berichte, Bilddokumente)
- Geometrien und Rasterdaten (georeferenzierte Objekte und Flächen, Karten, Orthophotos, Risswerke)

Die Verwaltung und umfassende Analyse der Daten stellt eine Herausforderung dar, für deren Bewältigung das Informationssystem AL.VIS/W aufgebaut wurde [K15]. Es dient zum Nachweis des Sanierungserfolges und bewahrt zudem für zukünftige Generationen das informative und wissenschaftliche Erbe.

2 Die Lösung zur IT-Aufgabe

Das Dateninformationssystem AL.VIS/W besteht aus den Basiskomponenten [H07]:

- Datenmodell auf Oracle Datenbanken, welches die unternehmensweiten Daten inklusive der Geometrieobjekte vorhält
- CARDO als WEB-GIS und Applikationssteuerung inklusive Nutzerverwaltung[5] sowie
- einzelne Applikationsanwendungen auf Basis von MS.NET-Technologie[6].

Die folgende Abbildung zeigt den Zugang zum Informationssystem mit seinen mittlerweile ca. 20 Applikationen.

[5] Firma IDU Zittau
[6] Wisutec Umwelttechnik GmbH mit Projektleitung der Wismut



Abb. 1: Informationssystem der Wismut GmbH

Die in AL.VIS/W gespeicherten Daten werden in verschiedenen Verantwortungsbereichen teilweise auch unter Verwendung eigenständiger, fachspezifischer Software erhoben (Produktionsebene) und einem Qualitätssicherungsprozess unterzogen. Die wesentlichen Daten daraus werden periodisch an das Informationssystem übergeben, zentral verwaltet und über eine Weboberfläche allen Mitarbeitern des Unternehmens zur Verfügung gestellt (Distributionebene). Diese Teilung in Produktions- und Distributionsebene im Sinne eines „Data Warehouse" entwickelte sich aufgrund der Prämissen

- Einsparung kostenintensiver Einzellizenzen
- konsequente Trennung der Datenverwaltung auf spezialisierte Anwenderkreise und
- Schaffung einer kostengünstigen Lösung zur Übernahme definierter Datenmengen für die firmenübergreifende Nutzung, verteilt auf mehrere Standorte

Derzeit nutzen rund 25% der etwas mehr als tausend Mitarbeiter der Wismut GmbH den Zugang zur Daten-und Informationsplattform. Die Nutzer kommen in erster Linie aus den ingenieurtechnischen Fachbereichen, aber auch aus den verwaltungs- und öffentlichkeitsorientierten Abteilungen. Das Informationssystem speichert die anfallenden Daten und macht sie mit komplexen Rechercheanwendungen verfügbar. Die Daten können sowohl mit Kartenfunktionalitäten dargestellt als auch mit vielfältigen Analysewerkzeugen weiterführend ausgewertet werden. Dazu gehören neben leistungsfähigen Diagramm-, Statistik- und Exportfunktionen auch eine Reihe von Spezialauswertungen, wie z.B. Dreiecksdiagramme oder Darstellung von räumlich interpolierten Stoffverteilungen. Großer Wert wurde auch auf die Bereitstellung von zusammengehörigen Informationen aus verschiedenen Themenbereichen gelegt. Dabei werden einer Suchanfrage folgend, Geometrien, ID-Nummern, Objektnamen usw.

miteinander verschnitten. Mit Hilfe von AL.VIS/W entstehen große Teile der zu jedem Sanierungsobjekt geforderten behördlichen Berichte [K15]. Ausgewählte Applikationen verfügen über Ereignismeldungen, die z.B. per Email den Nutzer erreichen. Der Austausch von Informationen auf digitaler Ebene neben dem Papierdokument zu den Genehmigungsbehörden in Sachsen und Thüringen ist ebenfalls für geforderte Bereiche implementiert.

AL.VIS/W als Ganzes dient damit als Werkzeug für die Bewältigung von täglichen Arbeitsroutinen und begleitet bei fortwährenden Planungs- und Entscheidungsprozessen innerhalb von Sanierungsprozessen. Ein bedeutendes Ziel ist es, auch nach Abschluss des Großprojektes die Daten und Informationen effizient, anwendungsbereit und digital zur Verfügung zu stellen. Potentielle Nutzer sind dann Behörden, Liegenschaftsverwaltungen, Eigentümer der sanierten Flächen, aber auch Anwender des Wismut Know-Hows in Ingenieurbüros und wissenschaftliche Institutionen.

3 Herausforderungen an das Langzeitmanagement von Daten

Mit dem zunehmenden Ausscheiden von Personal wird es notwendig, das Wissen dieser Mitarbeiter über sanierte Objekte zu bewahren [H07]. Das bedeutet, Daten in bestehende Datenbank- und Recherchestrukturen zu integrieren oder neu in den Verbund aufzunehmen. Damit ist eine stetige Verifizierung der IT-Lösung verbunden. Informationen weisen eine fortwährende Dynamik auf. Im Jahr 1991 erfolgte eine Bestandsaufnahme der entstandenen Kontaminationen der Umwelt. Dieser initiale Datenbestand in Form des sogenannten WISMUT-Umweltkatasters lieferte die Basis für Erstbewertungen zur Gefahrenabwehr sowie die Entwicklung von Sanierungskonzeptionen. Von der Erstbewertung zur Sanierungsphase erweiterte sich die Datenbasis z.B. in Form von zusätzlichen geochemischen Parametern (vom Hauptparameter Uran zum Exoten Samarium), Filterfunktionen beispielsweise zur Unterscheidung von verschiedenen Wasserarten (Sicker-, Drainage-, Flutungswasser u.a.) sowie grundlegenden Festlegungen zur Datenbankstruktur zugunsten einer robusten Anwenderoberfläche (zu einem konkreten Konservierungszustand einer Probe gehört eine definierte Einheit als vorgelegte Matrix) versus flexiblen Kombinationsmöglichkeiten auf der Ebene des Anwenders (unabhängige Zeitreihendarstellung[7]). Der Übergang von Sanierungsphase zur Langzeitüberwachung greift auf Zusatzalgorithmen, die das Wissen logisch und kompakt übergreifend über alle Informationskomplexe selektieren und verschneiden. D.h. der Anwender kann entweder konkret definiertes Wissen objektorientiert mit Hilfe von Semantik (Schlagwort und Volltextsuche), klassischen relationalen Beziehungen (Objekt-ID) und Koordinatenbezügen/Geometrien sich automatisch oder manuell nach eigenen Anforderungen verschneiden.

[7] Mit Einführung der Online Messungen ab 2013 erweitert sich das Anwendungsspektrum hinsichtlich der unabhängigen Zeitreihendarstellung. Der Anwender manövriert eigenständig hinsichtlich Einheit u.a. Berechnungsfaktoren.



Abb. 2: Verschnitt-Technologie innerhalb der Informationskomplexe von AL.VIS/W

Der nächste Schritt von der Langzeitüberwachung zur Wissensbewahrung erfordert weitere Mechanismen. Wismut sieht diese z.B. im Ausbau eines Dokumentenmanagementsystems mit vordefinierten Datenbeständen, in Verbindung mit der Verschneidung von den bereits vorliegenden Informationskomplexen. Des Weiteren werden Festlegungen notwendig, die das bestehende Wissen intuitiv auch in Zukunft für unternehmensferne Anwender recherchierbar machen. Der Datenbestand wächst mit jedem Sanierungsjahr. Die Betrachtung großer Themenkomplexe soll auch in Zukunft überschaubar und informativ bleiben. Mit dem Bundesarchivgesetz sind Daten auch auf elektronischer Basis auf den „bleibenden Wert“ zu prüfen, um nach 30 Jahren ihrer Entstehung als dauerhaft zu übernehmendes Archivgut einzugehen. Strategien zum bleibenden Wert sind bereits in dem Daten- und Informationssystem AL.VIS/W technisch integriert worden. Beispielsweise verlieren Daten zu abgeschlossenen und zugleich nicht mehr umweltrelevanten Vorgängen an Wert. Verbleibende Restkontaminationen dagegen gehören in die Kategorie „Daten … für deren Sicherung berechtigte Interessen der Bürger“ bestehen bzw. „Daten, die nach Rechtsvorschrift oder Vereinbarung“ dauerhaft aufzubewahren sind. Dafür sind genaue Bildungsvorschriften und Filterfunktionen im Datenmanagement zu hinterlegen, um Daten von bleibendem Wert stärker zu betonen bzw. eine Entscheidungsgrundlage über das was bleibt – Stichwort Datenlangzeitsicherung - vorzugeben. Die technischen Komponenten (Formate, Kompatibilitäten, etc.) der zukünftigen Verfügbarkeit von Daten sind ebenfalls als Herausforderung anzusehen. Dazu wird das Informationssystem konsequent angepasst, zum Beispiel in Form von konsequenter Datenmigration bei Wechsel der Datenbankversion . Zurzeit wird die Browserunabhängigkeit wie auch die stufenweise Umstellung zur .NET-Technologie in allen Anwendungen aktualisiert. Weitere Themen liegen u.a. in der Anbindung von Online-Messungen sowie perspektivisch der

Überführung von Geodaten vom Referenzsystem Gauß Krüger nach European Terrestrial Reference System 1989.

Literaturverzeichnis

[H07] Haase, M.; Fritz, M.; Zimmer, H.; Schröder, K.; Färber, D.; Pelz, F.: Das Informationssystem ALWIS – Datenmanagement der Wismut GmbH für die Sanierung: Proceedings des Internationalen Bergbausymposiums WISSYM 2007, Gera 2007, S. 433

[K15] Kreyßig, E.; Götze, J.; Schröder, K.; Matthias, H.: Das Technische Informationssystem der Wismut GmbH. In (Wismut, M.P. Hrsg.): Proceedings des Internationalen Bergbausymposiums WISSYM 2015, Bad Schlema 2015, S. 345

[W15] AWismut GmbH: Umweltbericht 2015, www.wismut.de, Stand: Juni 2017

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 2007

Forschungsorientierte Lehre am Beispiel IKT-gestützter Nachhaltigkeitsberichterstattung

Andreas Solsbach[1], Barbara Rapp[2] und Lutz Hüsken[3]

Abstract: Dieser Beitrag stellt die Umsetzung der forschungsorientierten Lehre im Bereich der Umweltinformatik an der Universität Oldenburg exemplarisch an einer Veranstaltung zur Nachhaltigkeitsberichterstattung dar. Studierende aus zwei unterschiedlichen Masterstudiengängen werden hierbei angeleitet verschiedene Phasen und Formen wissenschaftlichen Arbeitens und Forschens zu erproben, um bei der Erstellung des 2. Nachhaltigkeitsberichts der Universität Oldenburg zu unterstützen. Die Studierenden haben hierbei maßgeblichen Anteil an der inhaltlichen Ausgestaltung des Berichts und erhalten im Rahmen der Datensammlung Einblicke in verschiedenste Bereiche der Universität.

Keywords: Forschungsorientierte Lehre, FoL, Nachhaltigkeitsberichterstattung, Corporate Social Responsibility, Nachhaltigkeitsbericht, Studierende

1 Entwicklungen in der Nachhaltigkeitsberichterstattung

In der Unternehmenskommunikation gewinnt die Dokumentation von Prozessen und Aktivitäten in allen Phasen des unternehmerischen Handelns immer mehr an Bedeutung. Waren es früher insbesondere ökonomische Auswirkungen des unternehmerischen Handelns, die von Unternehmen in verschiedenster Form (z. B. Geschäftsbericht) veröffentlicht werden mussten, zeigt sich in der gewachsenen Aufmerksamkeit bezüglich nicht-finanzieller Aspekte seit dem Brundtland Bericht [Br87a] eine zunehmende Veränderung der Berichterstattung hinsichtlich der Transparenz und der Wesentlichkeit der Einflüsse. In diesem Bericht wird der Begriff der nachhaltigen Entwicklung als „[…] development that meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs“ [Br87b] definiert, um die Bedeutung des jetzigen Handelns für zukünftige Generationen aufzuzeigen. Die Nachhaltigkeitsberichterstattung (NBE) als Form der Unternehmenskommunikation zeigt neben der ökonomischen Dimension des unternehmerischen Handelns zusätzlich die ökologische und soziale Dimensionen auf sowie deren Wechselbeziehungen zueinander; entsprechend dem Triple Bottom Line Ansatz von Elkington [El98].

[1] Carl von Ossietzky Universität Oldenburg, Abt. Wirtschaftsinformatik / Very Large Business Applications, Ammerländer Heerstr. 114-118, 26129 Oldenburg, andreas.solsbach@uni-oldenburg.de
[2] Carl von Ossietzky Universität Oldenburg, Abt. Wirtschaftsinformatik / Very Large Business Applications, Ammerländer Heerstr. 114-118, 26129 Oldenburg, barbara.rapp@uni-oldenburg.de
[3] Carl von Ossietzky Universität Oldenburg, Ökologische Ökonomie, Ammerländer Heerstr. 114-118, 26129 Oldenburg, lutz.huesken@uni-oldenburg.de

doi:10.18420/in2017_201

Beispielsweise hat unternehmerisches Handeln mit der Einführung eines neuen Produktes auf dem Markt nicht ausschließlich ökonomische Auswirkungen, sondern kann sich im Materialeinsatz und dem Ausstoß von Emissionen (gegenüber dem Vorgängerprodukt) (ökologische Dimension) und der Schaffung/Sicherung von Arbeitsplätzen zeigen (soziale Dimension).

In einem Artikel des Harvard Business Review wird im Zuge der gewachsenen Aufmerksamkeit und deren Auswirkungen von einem Zeitalter der Transparenz gesprochen [MK10], dass sich in Unternehmen durch eine Vielzahl an verschiedensten Interessengruppen und Anfragen auszeichnet. Hierbei äußerte Lynette McIntire von United Parcel Service gegenüber den Autoren des Artikels, dass ihr Unternehmen allein im Jahr 2009 über 130 nachhaltig-orientierte Umfragen auszufüllen gehabt hat.

Diese Vielzahl an Anfragen zeigt, dass heutzutage Unternehmen in einem stetigen Austausch von Informationen mit Interessengruppen stehen. Unternehmen benötigen deshalb Experten zur Beantwortung dieser Anfragen zum unternehmerischen Handeln, da die Komplexität und Häufigkeit dieser Fragestellungen an Unternehmen nicht abnehmen wird. Durch die Bündelung der Darstellung des unternehmerischen Handelns mittels der NBE könnten Unternehmen in die Lage versetzt werden, die notwendigen Daten zur Beantwortung dieser Anfragen an einer zentralen Stelle im Unternehmen zu bündeln.

Für die NBE haben sich verschiedenste Richtlinien entwickelt bzw. werden kontinuierlich erneuert, so dass heutzutage verschiedenste Richtlinien existieren, die inhaltliche und prozessuale Vorgaben zur Erstellung eines Nachhaltigkeitsberichts enthalten. Es zeigt sich hierbei die Tendenz zur Verwendung der Richtlinien der Global Reporting Initiative (GRI), die mit GRI Sustainability Reporting Standards ihre neueste Version im Oktober 2016 veröffentlicht hat [GR16]. NBE ist jedoch nicht nur auf Unternehmen beschränkt, sondern betrifft auch Nichtregierungsorganisationen und neuerdings Hochschulen, wobei letzteres aus Sicht der Aufgaben in der Gesellschaft und der Vermittlung von Wissen zielführend ist. In Deutschland hat der Rat für Nachhaltigkeit eine Richtlinie erstellt und 2016 in einer Beta-Version des Deutschen Nachhaltigkeitskodex als „hochschulspezifischen Nachhaltigkeitskodex" veröffentlicht [RN16]. Mit Stand vom 30. Mai 2016 haben sich zwölf [RN16] deutsche Hochschulen verpflichtet, ihre Nachhaltigkeitsberichte anhand des hochschulspezifischen Nachhaltigkeitskodexes zu erstellen. Bereits 2014 wurde in einem wissenschaftlichen Aufsatz darauf hingewiesen, dass nach Unternehmen nun auch zunehmend Universitäten dem Trend der Nachhaltigkeitsberichterstattung folgen [SDB14].

Die Universität Oldenburg hat sich bereits 2013 ihrer Verantwortung gestellt und einen ersten Nachhaltigkeitsbericht veröffentlicht [KRS13]. Auch damals waren an der Erstellung des Berichtes Studierende aus den Masterstudiengängen Sustainability Economics and Management sowie Wirtschaftsinformatik beteiligt. Für die Berichterstattung wurde eine in der Abteilung Wirtschaftsinformatik (Very Large Business Applications) entwickelte Software genutzt [PR10]. Die Studierenden konnten erworbene Kenntnisse und Methoden anwenden und durch die Gespräche mit

unterschiedlichsten Akteuren in der Universität (Studierende, Mitarbeiter in der Verwaltung etc.) einen Einblick hinter die Kulissen einer universitären Verwaltung erhalten, dessen Einrichtungen sie in ihrem Studium bislang nur genutzt hatten.

Da sich die starke und unmittelbare Integration der Studierenden in den Prozess der Berichterstattung als sehr tragfähig erwiesen hat, stellte sich für die Dozenten die Frage, wie eine praxisnahe und forschungsorientierte Lehre zum Thema Nachhaltigkeit aussehen kann. Der vorliegende Beitrag erläutert das umgesetzte forschungsorientierte Lehrkonzept. Die Lehrveranstaltung „IKT-gestützte Nachhaltigkeitsberichterstattung“ wird seit dem Sommersemester 2017 primär für die Masterstudiengänge Sustainability Economics and Management und Wirtschaftsinformatik an der Universität Oldenburg angeboten.

2 Einsatz der forschungsorientierten Lehre

Aktuelle Entwicklungen im Bereich NBE, wie z. B. integrierte Berichterstattung sowie sich ändernde Richtlinien und Standards zwingen Unternehmen und andere Organisationen sich auf diesem Gebiet ständig weiterzubilden und anzupassen, um neuen Anforderungen gerecht werden zu können. Aufgrund der Vielzahl und Schnelllebigkeit von Anforderungen an sowie Richtlinien, Empfehlungen und Standards für die NBE, entsteht eine enorme Nachfrage für entsprechend ausgebildete Experten. Dieser Bedarf ist nicht auf bestimmte Regionen beschränkt, sondern findet sich in der Europäischen Union genauso wie in Brasilien oder Südafrika.

An der Universität Oldenburg werden aktuell verschiedenste forschungsorientierte Ansätze angewendet und untersucht, z. B. in der Lehrveranstaltung „IKT-gestützte Nachhaltigkeitsberichterstattung“. Im Mittelpunkt der Veranstaltungsvorbereitung stand die Identifikation relevanter Themenbereiche, die Studierenden sollten

- … einen Überblick über verschiedenste Betrachtungsweisen und Definitionen des Begriffs Nachhaltigkeit erhalten,
- … die Bedeutung der Nachhaltigkeitsberichterstattung als Instrument der Unternehmenskommunikation erfahren,
- … Life Cycle Assessment, Ökobilanzen und Supply Chain Management als mögliche Datenlieferanten kennenlernen,
- … mit der Semantik, Vergleichbarkeit und Umrechenbarkeit von Kennzahlen, Kenngrößen, Standards und Richtlinien vertraut gemacht werden,
- … Datendefekte interpretieren und beheben können sowie
- … Möglichkeiten zur Umsetzbarkeit der Berichterstattung (z. B. Wissensmanagement, Document Engineering, Integrated Reporting und Zielgruppenorientierung) kennenlernen.

Da einige der aufgeführten Themenbereiche sehr forschungslastig sind, drängt sich eine Verbindung von Konzepten des wissenschaftlichen Arbeitens und Lehrens nahezu auf. Im Zuge der Lehrveranstaltung durchlaufen Studierende verschiedene Phasen und Formen wissenschaftlichen Arbeitens und Forschens, wobei sie durch die Dozenten begleitet werden.

Abbildung 1 zeigt den intendierten Prozessablauf sowie die jeweils durch die Studierenden generierten Artefakte.

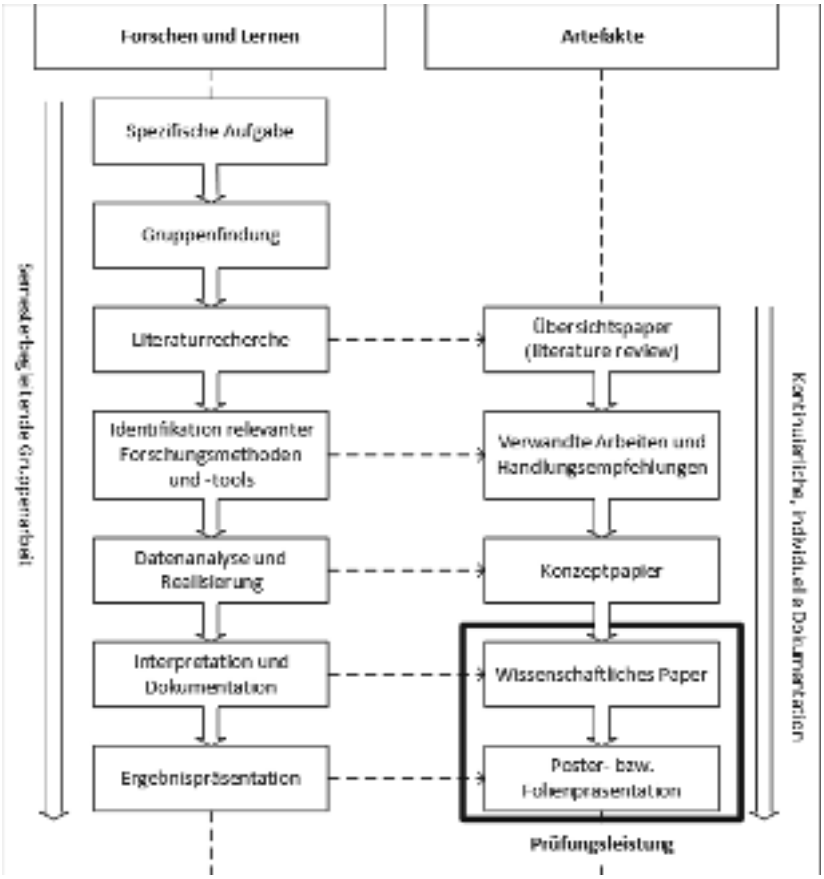


Abb. 1: FoL-Prozessablauf im Rahmen der Lehrveranstaltung

Die konkret formulierte Semesteraufgabe („Erstellen Sie einen Nachhaltigkeitsbericht für die Universität Oldenburg.“) ermöglicht praktische Erfahrungen und erlaubt einen Einblick in die mögliche berufliche Zukunft. Um dieses umfangreiche Problem zu lösen, wird den Studierenden geraten, Gruppen zu bilden und dabei die unterschiedlichen Kompetenzen der Gruppenmitglieder (unterschiedliche Studiengänge mit spezifischem

Vorwissen) zu berücksichtigen. Eine erste Aufgabe ist das Sichten vorhandener Literatur und Datensätze. Ein erster und wissenschaftlich verwertbarer Output ist ein Literaturreview. Darauf aufbauend ermitteln die Studierenden i. d. R. Vorgehensweisen um das gegebene Problem zu lösen, der Output dieser Phase könnte in einer wissenschaftlichen Veröffentlichung münden und dort Vor- und Nachteile entsprechender Ansätze gegenüberstellen und ggf. Erweiterungen präsentieren. Die Präsentation und Interpretation der Ergebnisse könnte ebenfalls in der wissenschaftlichen Community präsentiert und diskutiert werden. Aufgrund der erwarteten Ergebnisse würde sich hier insbesondere auch eine Posterpräsentation anbieten.

Die unmittelbare Beteiligung der Studierenden ermöglicht es ihnen eine Reihe unterschiedlicher Kompetenzen zu erwerben:

- Fachkompetenzen: Die Studierenden können die Relevanz verschiedener Kennzahlen, Kenngrößen, Standards und Richtlinien beurteilen, darüber hinaus kennen sie verschiedene Methoden der Datenerhebung und Möglichkeiten zur Interpolation fehlender oder fehlerhafter Daten sowie deren Einfluss auf die Aussagekraft des zu erstellenden Berichts, ebenso entwickeln sie Konzepte zur Umsetzung einer Zielgruppenorientierung.
- Methodenkompetenzen: Die Studierenden erstellen einen im Umfang reduzierten Nachhaltigkeitsbericht und müssen hierfür entscheiden, ob und wenn ja, welcher existierende Standard zum Einsatz kommen kann, auch erfassen sie benötigte Daten und analysieren diese. Darüber hinaus bereiten die Studierenden die erfassten Daten zielgruppengerecht auf.
- Sozialkompetenzen: Die Studierenden arbeiten in Gruppen und müssen so Arbeitspakete identifizieren und Verantwortlichkeiten wahrnehmen. Sie präsentieren und diskutieren die eigenen (Teil-)Ergebnisse auf fachlicher Ebene.
- Selbstkompetenzen: Die Studierenden nehmen Kritik an und verstehen sie als Vorschlag für die Weiterentwicklung des eigenen Handelns.

Nach erfolgreichem Abschluss der Lehrveranstaltung sollen Studierende in der Lage sein, einen zielgruppenorientierten Nachhaltigkeitsbericht für eine beliebige Organisationsform zusammenzustellen. Ebenso sollen die Studierenden in die Lage versetzt werden, die verfügbaren Standards und Richtlinien zu verstehen und anzuwenden sowie hinsichtlich der Auswirkung von Datendefekten die Umsetzbarkeit mittels aktueller Informations- und Kommunikationstechnologie zu analysieren.

Als Veranstaltungsform wurde das Praktikum gewählt, d. h. zu Beginn der Lehrveranstaltung finden vier Vorlesungseinheiten sowie eine Einführung in das Softwaretool zur Nachhaltigkeitsberichterstattung statt. Hier geben die Dozenten einen Überblick über den aktuellen Stand und Trends der NBE, zeigen Beispiele für universitäre und unternehmerische NBE, demonstrieren den Mehrwert von Materialflussanalyse und Stoffstromnetzen beim Ressourcenmanagement, machen die Studierenden mit der Semantik, Vergleichbarkeit und Umrechenbarkeit von Indikatoren vertraut und zeigen die

Nützlichkeit von Wissensmanagementansätzen und Zielgruppenorientierung auf. Die einzelnen Vorlesungseinheiten sind als Pitch angelegt und fördern jeweils die Interaktion mit den Studierenden. Beispielsweise werden einzelne Inhalte vor Ort mittels verschiedener Kreativtechniken erarbeitet.

Parallel zu den Vorlesungseinheiten bearbeiten die Studierenden die Semesteraufgabe in selbstgewählten Gruppen (Arbeitspakete siehe Abschnitt 3). Die Bearbeitung erfolgt selbstorganisiert, wobei vier Meilensteine einzuhalten sind:

1. Erstellung bzw. Aktualisierung aller relevanten Indikatoren.
2. Hinterlegen der Indikatoren mit entsprechenden Datensätzen.
3. Koppeln der Berichtsvorlage mit den Indikatoren/Daten.
4. Abgabe Projektbericht und Präsentation.

Der Aufwand auf Seiten der Studierenden differiert zwischen den verschiedenen Arbeitspaketen (siehe Abschnitt 3) marginal, da bei der Ausgestaltung der einzelnen Dimensionen durch die Dozenten der inhaltliche Zusammenhang der entsprechenden Indikatoren im Vordergrund stand.

Grundsätzlich ist das Modul auf vier Semesterwochenstunden ausgelegt. Zu Semesterbeginn werden diese für die Vorlesungseinheiten und das Tutorial genutzt. Danach wird dieser Termin genutzt, um aktuelle Ergebnisse und Herausforderungen im Plenum zu besprechen. Darüber hinaus steht die Wissenschaftliche Hilfskraft, die bei der Koordination unterstützt, auch zwischen den Terminen für direkte Fragen zu den Arbeitspaketen zur Verfügung.

Die Studierenden erhalten für den erfolgreichen Abschluss der Lehrveranstaltung 6 ECTS-Punkte. Als Prüfungsleistung wird das Portfolio genutzt, da so sowohl Gruppen- als auch Individualleistungen angemessen berücksichtigt werden können.

3 Nachhaltigkeitsberichterstattung an der Universität Oldenburg

Im Jahr 2013 veröffentlichte die Universität Oldenburg ihren ersten Nachhaltigkeitsbericht unter dem Titel „Nachhaltigkeit an der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg - ein Bericht von Studierenden" [KRS13]. Aufgrund organisatorischer Gründe konnte im Jahr 2015 kein Bericht veröffentlicht werden. Da die Daten für diesen Zeitraum jedoch vorliegen, finden sie in der Veröffentlichung 2017 Berücksichtigung.

Gemäß aktuellen Richtlinien ist das Festlegen von Berichtszyklen (d. h. Abweichung von einer jährlichen Berichterstattung) möglich. Die Universität Oldenburg weicht von einer jährlichen Berichterstattung ab, um die weiterentwickelten Möglichkeiten zur Berichterstattung zu nutzen, weitere Aktivitäten und deren Ausgestaltung aufzunehmen

und die Möglichkeiten zur Personalisierung der Berichterstattung zu analysieren. Die maßgebliche Erstellung des Berichts durch Studierende unterstreicht den transparenten Umgang einer solchen Berichterstattung. Außerdem kann die Universität mit dieser Form der forschungsorientierten Lehre einen Output verbinden, der für alle Beteiligten einen Mehrwert bietet.

Der Nachhaltigkeitsbericht 2017 legt neue Schwerpunkte. Hervorzuheben hierbei ist die Einbindung von Stakeholdern auf der einen sowie die Betrachtung von An-Instituten und studentischen Initiativen auf der anderen Seite. Diese Elemente finden sich im alten Bericht nicht, tragen aber zur ganzheitlichen Erfassung der Nachhaltigkeitsaktivitäten der Universität bei. Um die unterschiedlichen Facetten der Nachhaltigkeit im universitären Kontext erfassen zu können, wurden sieben Dimensionen bzw. Arbeitspakete definiert. Die Inhalte der Arbeitsgruppen orientieren sich an Indikatoren aus den GRI Standards [GRI16] und dem hochschulspezifischen Nachhaltigkeitskodex des Rates für Nachhaltige Entwicklung der Bundesregierung [RN16]. Die einzelnen Arbeitspakete (AP) sind auf vier Studierende ausgelegt und wie folgt fokussiert:

- AP1: General Disclosures und ökonomische Leistungsfähigkeit
- AP2: Soziale Dimension
- AP3: Ökologische Dimension
- AP4: Forschung
- AP5: Lehre
- AP6: An-Institute und studentische Initiativen
- AP7: Stakeholder

Obwohl die Arbeitspakete 1 bis 3 sehr der Berichterstattung von Unternehmen ähneln bleibt festzuhalten, dass sich die Strukturen einer Universität stark von einem Unternehmen unterscheiden. Die ökonomische Leistungsfähigkeit wird zum Beispiel maßgeblich durch die Höhe der Landeszuwendungen bestimmt. Auch der Bereich Soziales ist durch Gesetze (zum Beispiel: Geschlechtergleichstellung, Auswahl von Lieferanten nach sozialen Kriterien) determiniert und birgt in diesen Bereichen wenig Spielraum für die Universität. Das Arbeitspaket Ökologie hingegen birgt viele Handlungsoptionen für interne Prozesse, die einen Beitrag zur nachhaltigen Entwicklung leisten können und damit auch im Nachhaltigkeitsbericht als eigene Initiativen abgebildet werden.

Besondere Betrachtung der universitären Nachhaltigkeitsberichterstattung erfahren die Arbeitspakete 4 bis 7. Das Arbeitspaket Forschung wird im Nachhaltigkeitsbericht durch wissenschaftliche Zentren und Forschungsprojekte mit Bezug zur Nachhaltigkeit abgebildet. Durch weitere nachhaltigkeitsbezogene Kennzahlen in der Forschung, wie zum Beispiel Anzahl von Publikationen, ProfessorInnen, Drittmittelgebern und Projektpartnern, werden die Forschungsbestrebungen der Universität quantifiziert und

gestützt. Die Berichtsinhalte des Arbeitspaketes Lehre setzen sich aus angebotenen Studiengängen mit Nachhaltigkeitsbezug, den eingeschriebenen Studierenden in diesen Studiengängen sowie Befragungen von ehemaligen Studierenden zusammen. Da für die Universität Oldenburg die Lehrerausbildung eine große Rolle spielt, bezieht sich der Nachhaltigkeitsbericht auch auf den Einfluss von Nachhaltigkeit auf die Lehrerbildung mit Nennung von exemplarischen Projekten. Ein weiteres Alleinstellungsmerkmal von Universitäten (vor allem gegenüber Unternehmen) sind studentische Initiativen und An-Institute. Im ersten Bericht der Universität Oldenburg wurden diese nicht mit einbezogen, sollen aber im zweiten Bericht abgebildet werden. Gezeigt werden sollen vordergründig Initiativen und An-Institute mit Bezug zur Nachhaltigkeit, da die Universität Oldenburg auch über die Lehre und Forschung hinaus Nachhaltigkeit fördert. Auch wird im Arbeitspaket 6 über Teile des Studentenwerkes berichtet. Dies ist nicht Teil der Universität, ist aber durch den täglichen Kontakt mit Studierenden (Wohnheime, Mensen und Cafeterien) ein wichtiger Bestandteil des universitären Alltags. Wie gezeigt wurde ist die Universität in vielen Bereichen mit Dritten verbunden. Daher sollen im zweiten Nachhaltigkeitsbericht auch die Stakeholder zu Wort kommen. Dazu werden wichtige Stakeholder (zum Beispiel aus Politik, Verbänden, Geldgebern, lokalen Unternehmen) ausgewählt, die innerhalb des Berichts die Stellung der Universität Oldenburg zur jeweiligen Organisation beschreiben. Ein solcher Einbezug der Stakeholder soll als erster Schritt in Richtung eines Stakeholderdialogs gelten, welchen es an der Universität Oldenburg in dieser Form bislang noch nicht gibt.

Neben der inhaltlichen Ausrichtung des Berichts spielt die informations- und kommunikationstechnische Unterstützung innerhalb der Datensammlung, -erfassung und -speicherung eine zentrale Rolle. In einem von ehemaligen Studierenden und Mitarbeitern entwickelten Softwaretool zur NBE werden alle relevanten Daten zusammengetragen und redaktionell für den finalen Bericht aufgearbeitet. Diese Webanwendung wird während der Berichterstattung von den Studierenden in zwei Phasen genutzt. Zu Beginn müssen die Studierenden alle relevanten Indikatoren in das Tool eintragen oder bereits vorhandene ggf. aktualisieren. Dies erfordert eine Beschreibung sowie das Eintragen von Dimensionen eines jeden Indikators. Im zweiten Schritt werden die Studierenden dann die von ihnen erstellten Indikatoren mit den, ebenfalls von ihnen gesammelten, Daten füllen. Mit Hilfe dieser Informationen wird der Bericht zusammengesetzt. Dabei finden alle Prozesse, vom Eintragen der Indikatoren bis zur Fertigstellung des Berichts, innerhalb der Webanwendung statt. Der Vorteil einer solchen Webanwendung ist zuerst einmal die Übersichtlichkeit. So können die Lehrenden zu jeder Zeit online die Fortschritte nachverfolgen und durch Kommentarfunktionen Feedback geben. Außerdem können die einmal angelegten Indikatoren wiederverwendet werden, was den Aufwand für nachfolgende Berichte erheblich senkt. Ebenfalls kann die Berichtsvorlage wiederverwendet werden. Da die Erfahrung zeigt, dass lange Print- und PDF-Berichte schnell an Aufmerksamkeit verlieren bietet das Softwaretool zusätzlich auch die Veröffentlichung einer Microsite.

4 Fazit und Ausblick

Der vorliegende Beitrag zeigt zum einen wie eine Lehrveranstaltung aktiv für und mit Studierenden gestaltet werden kann und zum anderen die von den Studierenden durchlaufenen Phasen und Formen wissenschaftlichen Arbeitens und Forschens im Rahmen der Veranstaltung „IKT-basierte NBE“ an der Universität Oldenburg. Die Studierenden haben sich in Kleingruppen zusammengefunden und wurden durch die Dozenten mit den jeweiligen Arbeitspaketen (inklusive Hilfestellungen zur Literatur und möglichen Indikatoren für die Berichterstattung) versorgt. Des Weiteren wurden die potentiellen Inhalte des Nachhaltigkeitsberichts dargestellt. Der Prozess wird voraussichtlich im Herbst 2017 abgeschlossen werden können.

Der hochschulspezifische Nachhaltigkeitskodex des Rates für Nachhaltigkeit befindet sich derzeit in einer Testphase mit zehn teilnehmenden Universitäten [RN16]. Für den Prozess der Nachhaltigkeitsberichterstattung der Universität Oldenburg hat man sich gegen eine ausschließliche Nutzung dieser Richtlinie entschieden. Durch GRI Standards erhalten die Studierenden umfangreiche Anleitungen zur Datenerfassung und zur Strukturierung von Berichten unter Beibehaltung von Freiheitsgraden zur Ergänzung hochschulspezifischer Indikatoren. Über existierende Brückendokumente ist eine Übertragung auf den hochschulspezifischen Nachhaltigkeitskodex des Rates für Nachhaltigkeit im Nachgang möglich.

Die Evaluation der Lehrveranstaltung des laufenden Sommersemesters 2017 findet aktuell im Rahmen der allgemeinen Lehrevaluation an der Universität Oldenburg statt, wobei die Ergebnisse noch ausstehen. In den Gesprächen wiesen die Studierenden mehrfach auf zwei besonders positive Aspekte hin: (1) Die identitätsstiftende Wirkung der NBE (Verstehen von administrativen Prozessen, Kennenlernen unterschiedlicher Verantwortlichkeiten und Zuständigkeiten, Herausforderungen in Forschung und Lehre, Transparenz aller Strukturen, etc.) hin. (2) Die praxisnahe Ausgestaltung der Projektaufgabe, d. h. Ziel- und Zeitvorgabe und exakte Vorgabe des zu beschreitenden Weges.

Langfristig soll die NBE der Universität Oldenburg auch in englischer Sprache verfügbar sein. Dies ist insbesondere für die Kommunikation mit Dritten auf internationaler Ebene von großer Bedeutung. An der Universität haben sich in der Forschung und Lehre die drei Leitthemen Umwelt und Nachhaltigkeit, Mensch und Technik sowie Gesellschaft und Bildung etabliert. Ein aktueller Nachhaltigkeitsbericht kann dabei Dritten gegenüber als Schnittstelle und Türöffner dienen.

Ebenfalls soll künftig ein Benchmarking der NBE an nationalen sowie internationalen Universitäten und Hochschulen elementarer Bestandteil der Lehrveranstaltung werden. Geplant ist eigene Stärken und Schwächen im Vergleich mit Anderen zu identifizieren und Alleinstellungsmerkmale auszubauen. Ein Nachhaltigkeitsbericht kann ein wichtiges Instrument zur Einwerbung von Drittmitteln sowie zur Ansprache von Mitarbeitern, Studieninteressierten sowie weiteren internen und externen Stakeholdern werden.

Als dritter Punkt soll die Zielgruppenorientierung stärker umgesetzt werden, dazu muss u. a. die Auswahl der Indikatoren, die Diskussion der Schwerpunkte sowie die Festlegung zu berichtender Aktivitäten strukturiert erfolgen und modular aufgebaut sein. Nur dann wird es möglich sein, dem Leser einen individuellen (z. B. seinen Interessen entsprechend) Nachhaltigkeitsbericht on-the-fly zur Verfügung zu stellen. Gleichzeitig bedarf es einer Trennung von Inhalt und Präsentation, um dem Leser jeweils die gewünschte Darstellung (Größe und Typ von Schriften, Diagrammen, etc.) anbieten zu können.

Literaturverzeichnis

[Br87a] Brundtland, G.H.: Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future. World Commission on Environment and Development: A/42/427, Genf, 1987.

[Br87b] Brundtland, G.H.: Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future. World Commission on Environment and Development: A/42/427, S. 54, Genf, 1987.

[El98] Elkington, J.: Cannibals with forks: The triple bottom line of 21st century business. Gabriola: New Society Publishers, 1998.

[GR16] GRI, Global Reporting Initiative: First Global Sustainability Reporting Standards Set to Transform Business. https://www.globalreporting.org/information/news-and-press-center/Pages/First-Global-Sustainability-Reporting-Standards-Set-to-Transform-Business.aspx, 19. Oktober 2016, Amsterdam, abgerufen am 12.05.2017.

[KRS13] Kölling, J., Roeder, O., Siebenhüner, B.: Nachhaltigkeit an der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg – Ein Bericht von Studierenden. Oldenburg, 2013.

[MK10] Meyer, K.; Kirby, J.: The Big Idea: Leadership in the Age of Transparency. Harv. Bus. Rev., 2010.

[PR10] Projektgruppe Nachhaltigkeitsberichterstattung im Web 2.0, https://www.uni-oldenburg.de/informatik/pg_beendet/, abgerufen am 14.05.2017.

[RN16] RN, Rat für Nachhaltige Entwicklung: Der hochschulspezifische Nachhaltigkeitskodex, 2. überarbeiteter Entwurf, http://www.deutscher-nachhaltigkeitskodex.de/fileadmin/user_upload/dnk/dok/160530_HS-DNK_Beta-Version_dt.pdf, Stand: 30.05.2016, Berlin, abgerufen am 11.05.2017.

[SDB14] Sassen, R.; Dienes, D.; Beth, C.: Nachhaltigkeitsberichterstattung deutscher Hochschulen. Zeitung für Umweltpolitik & Umweltrecht 3/2014, S. 258-277, 2014.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 2017

Serious Games, Umweltbewusstsein und Nachhaltigkeit

Martina Willenbacher[1], Reimund Lepiorz[2] und Volker Wohlgemuth[3]

Abstract: Idee, Vorteile des Spiels für sozialrelevante Bereiche zu nutzen, Spiele generell also auch in einem positiven Sinne zu instrumentalisieren, ist nicht neu. Dabei standen digitale Spielformen lange unter Verdacht, sich für vermeintlich ernsthafte und sozial relevante Zwecke nicht zu eignen. Der immer selbstverständlichere Umgang mit digitalen Spielen, die zunehmende Medienkompetenz und Anzahl derjenigen, die eine Affinität zu digitalen Games entwickeln, stellt die Legitimation von Serious Games heute außer Frage. Besonders bei den Digital Natives, die mit modernen Technologien aufgewachsene Generation, stoßen SG auf große Akzeptanz. In diesem Beitrag soll untersucht werden, wie in der Umweltinformatik das Potenzial des Spielens bezogen auf Serious Games genutzt werden kann. Es sollen Möglichkeiten diskutiert werden, wie frühzeitig das Umweltbewusstsein mit SG gefördert und nachhaltiges Denken verinnerlicht werden kann.

Keywords: Serious Games, e-Learning, Nachhaltigkeit, Digitaler Wandel.

1 Einleitung

Als Serious Games (SG) werden digitale Lernspiele bezeichnet, die durch die Verbindung mit Vergnügen und Bildung die Lernmotivation erhöhen sollen. Besonders bei den Digital Natives, die selbstverständlich mit modernen Technologien umgehen, stoßen SG auf große Akzeptanz. Erstmals geprägt wurde der Begriff Serious Games Ende der 60er Jahre von dem amerikanischen Ingenieur und Pionier der Computersimulation Clark C. Abt in dem Buch „Serious Games“ [Ab87]. Abts Ansicht war, das SG Denken und Handeln kombinieren, was den Lernerfolg durch Verbindung physischer und geistiger Aktion steigert [Ab87a, S. 4]. Während im Militär, in der Luft- und Raumfahrt als auch in der Medizin SG schon seit längerem übliche Ausbildungsmethoden sind, halten Spiele in den letzten Jahren nun auch mehr und mehr Einzug in Schulen und Ausbildungsstätten. Die Verfügbarkeit von Spielen auf mobilen, onlinefähigen Endgeräten ging auch mit einem Anstieg der Anzahl der Spieler in den letzten Jahren einher. Es ist auch zukünftig mit der Zunahme von Nutzern von Online-Spielen zu rechnen.

[1] Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin, Fachbereich 2 - Ingenieurwissenschaften - Technik und Leben, Anschrift, Campus Wilhelminenhof, Ostendstraße 25, 12459 Berlin, Martina.Willenbacher@HTW-Berlin.de
[2] Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin, Fachbereich 2 - Ingenieurwissenschaften - Technik und Leben, Anschrift, Campus Wilhelminenhof, Ostendstraße 25, 12459 Berlin, Reimund.Lepiorz @HTW-Berlin.de
[3] Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin, Fachbereich 2 - Ingenieurwissenschaften - Technik und Leben, Anschrift, Campus Wilhelminenhof, Ostendstraße 25, 12459 Berlin, Volker.Wohlgemuth@HTW-Berlin.de

doi:10.18420/in2017_202



Abbildung 1 Zunehmendes Interesse am Gaming[4]

Der Beitrag untersucht das Potenzial der Serious Games in Bezug auf die Umweltinformatik.

Eignen sich SG, um nachhaltiges Denken und Handeln zu fördern, in welchen Rahmen und wie müssten Spiele gestaltet sein, um sie möglichst nutzerorientiert einzusetzen? Der Beitrag listet auch eine Auswahl umweltbezogener, nachhaltiger SG auf, allerdings ohne jeglichen Anspruch auf Vollständigkeit.

2 Lernen mit Serious Games

Die Idee, Vorteile des Spiels für sozialrelevante Bereiche zu nutzen, Spiele generell also auch in einem positiven Sinne zu instrumentalisieren, ist nicht neu. Dabei standen digitale Spielformen lange unter Verdacht, sich für vermeintlich ernsthafte und sozialrelevante Zwecke nicht zu eignen [Fr10]. Der immer selbstverständlichere Umgang mit digitalen Spielen, die zunehmende Medienkompetenz und Anzahl derjenigen, die eine Affinität zu digitalen Games entwickeln, stellt die Legitimation von Serious Games heute außer Frage. Die Nutzung oder gesellschaftliche Relevanz der Serious Games wird dabei vorwiegend im Kontext von Lernprozessen in der Pädagogik, der Gesundheitsbranche oder im Unternehmenszusammenhang diskutiert.

Wie andere Medien tragen auch digitale Spiele dazu bei, Wissen zu vermitteln, mithin

[4] https://www.bitkom.org/Presse/Pressegrafik/2016/August/Gaming/Bitkom-Praesentation-PK-Gaming-11-08-2016-final.pdf, Letzter Abruf: 12.05.2017

auch soziales Lernen zu fördern, indem schon durch einfaches Beobachten Verhaltenspotenziale erworben werden. Als wichtiger Punkt wird der interaktive Charakter der Games, manchmal auch die kollaborativen Formen des digitalen Spiels und die Möglichkeit zur Exploration betont, die zusätzliche Lernpotenziale freisetzt. Es ist ein deutlich höheres Aneignungspotenzial durch digitale Spiele gegeben als bei Formen passiver Rezeption. „Das digitale Spiel dient dabei als Information und Werkzeugangebot für einen selbst gesteuerten Lernprozess“ [Bo14, S.64].

Es liegen bisher nur wenige Evaluationen zum Lernerfolg von Serious Games vor. Eines der am besten untersuchten Serious Games ist „Re-Mission“, ein Game aus der Gesundheitsbranche, das im Rahmen von Krebstherapien eingesetzt wird. Die Compliance, etwa in Form der regelmäßigen Einnahme der Medikamente und das Wissen über deren Wirkmechanismen, hat sich bei den Betroffenen durch das Spiel signifikant erhöht. Und im Umfeld der beruflichen Weiterbildung und dem Einsatz in Unternehmen ist die Motivation, digitale Spiele zu nutzen offenbar schon jetzt deutlich höher als die Nutzung anderer Lernmittel [Go11a].

Der Erfolg eines Serious Game bemisst sich, wenn man von der Intention der Macher ausgeht, neben einem Lernerfolg auch daran, ob der Transfer der Spielidee in die Realität gelingt. Dabei spielen gestalterische Aspekte eine ebenso große Rolle wie niedrige Systemanforderungen, um eine große Zielgruppe zu erreichen bei gleichzeitig möglichst professionellem Gamecharakter. Die Kosten für die Erstellung von Serious Games sind noch relativ hoch und die Spiele besonders dort wirksam, wo ein enger Handlungsrahmen vorliegt und die Ziele eng gesteckt sind [Go11b]. Legt man allerdings zunehmende Medienkompetenz der User und die universelle Bedeutung des Mediums Spiel, das Potenzial, User zu motivieren und für sozialrelevante Inhalte zu interessieren, zugrunde, ist eine konzeptionelle Beschäftigung mit Serious Games für Bereiche der Nachhaltigkeit durchaus lohnend. Der Einsatz digitaler Medien wie Tablets und Smartphones wirkt zumindest in technikaffinen Umfeldern motivierend und kann zu einem nachhaltigeren Wirtschaften in bestimmten Nischenkontexten führen. Ein Beispiel ist das Projekt „MOPS – Mobile Unterstützung eines prozessorientierten Stoffstrommanagements in KMU“[5]. Das Projekt entwickelte ein mobiles Tool zur Erfassung und Darstellung von Stoff- und Energieströmen, das zur Ressourcenoptimierung in Betrieben beitragen soll. Ein Nebeneffekt der mobilen Anwendung ist der einfache Fakt, dass die interaktive vor- Ort-Visualisierung von Daten in farbigen Sankey-Diagrammen auf einem Tablett wesentlich userfreundlicher und unterhaltsamer ist als übliche Darstellungsformen.

3 Nachhaltig und umweltbezogen spielen

Das Potenzial der Auswirkungen von Computerspielen besonders auf Kinder und Jugendliche erkannten bereits 1996 das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit und ließ von dem Unternehmen Egosoft das Serious Game „No

[5] http://mops.f2.htw-berlin.de/, Letzter Abruf: 14.05.2017

Future?“ entwickeln, welches das nachhaltige, umweltgerechte Denken in globalen Zusammenhängen und die Bereitschaft zur Übernahme von Verantwortung für zukünftige Generationen fördern soll[6]. „No Future?“ war nicht online und wurde noch auf 3,5‘‘-Disketten ausgeliefert. Durch die Ausbreitung des Internets, Weiterentwicklung der Hardware – besonders durch schnellere CPU und GPU - und dem Einsatz innovativer Softwaretechnologien wie künstliche Intelligenz lassen sich jedoch ganz neue Möglichkeiten im Bereich der Spieleentwicklung umsetzen, was einen Paradigmenwechsel im Bildungsbereich auf digitaler erkennen lässt. Durch den Einsatz von Methoden der künstlichen Intelligenz lassen sich menschliche Reaktionen und Verhaltensweisen realistischer darstellen. Durch individuelle Charaktere mit individuellen Eigenschaften werden dem Spieler als auch dem Entwickler größere Entscheidungsmöglichkeiten gegeben. Besonders durch das nicht vorhersehbare Verhalten von virtuellen Akteuren innerhalb der Spielumgebung (Nichtspielercharaktere) werden das Denken und das Treffen überlegter Entscheidungen unterstützt [Ma10, S. 117 ff.]. Diese Aspekte können ebenso in Serious Games für den Umweltbereich, beispielsweise für Optimierungen oder Simulation von Auswirkungen bestimmter Entscheidungen, eingesetzt werden.

3.1 GISCAME

GISCAME verfolgt das Ziel, Landnutzung auf Basis der regional verfügbaren Wissensgrundlagen (statistische Daten, Modellergebnisse/Gutachten und Erfahrungswissen) zu bewerten und damit dem Planer ein Werkzeug an die Hand zu geben, Handlungsalternativen gegeneinander abzuwägen. Die Konzeption der Software betrachtet die Landschaft als integrative Ebene für Interaktionen zwischen verschiedenen Landnutzungsarten und Landnutzern und landschaftsbezogenen Ökosystemprozessen, die die Erfüllung von landschaftsbezogenen Ökosystemdienstleistungen bedingen. Mit dem angebundenen Bewertungs- und Regelsystem können Rahmenbedingungen formuliert und Umwandlungsgebote/-verbote hinterlegt werden[7].

Anwendungsgebiete:

- Bewertungsmöglichkeit planerischer Vorgaben
- Unterstützung raumbezogener Entscheidungen
- Simulation alternativer Planungsszenarien
- Betrachtung von Wassererosionsrisiken
- Betrachtung von Biomasse- Produktionspotentialen

[6] http://www.bmub.bund.de/pressemitteilung/neues-computerspiel-von-bundesumweltministerium-und-umweltbundesamt-zum-thema-nachhaltige-entwicklun/, Letzter Abruf: 12.05.2017
[7] http://www.giscame.com/giscame/index.html, Letzter Abruf: 14.05.2017

- Identifizierung von Konfliktbereichen
- Werkzeug zur Kompromissbildung[8]



Abb. 2 GISCAME[9]

3.2 PlayFM

PlayFm ist ein Serious Game für den IT-gestützten Wissenstransfer im Facility Management, welches unter der Federführung der Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin im Rahmen der Förderinitiative FHprofUnd des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) entwickelt wurde. Hierfür wurden simulationsgestützte SG-

[8] http://www.giscame.com/giscame/index.html, Letzter Abruf: 14.05.2017
[9] http://www.giscame.com/giscame/index.html, Letzter Abruf: 14.05.2017

Lernmethoden speziell für den Bereich Facility Management zum Einsatz gebracht[10]. Der Held von PlayFM ist Franzi Meier, eine Facility Managerin, die für das Gebäude der Green Water Solutions GmbH, einem virtuell produzierenden Mittelständler, zuständig ist. Dort geht der Held auf seine Reise und löst im Verlauf des Spiels FM-bezogene Probleme. PlayFM orientiert sich an der Dialogstruktur klassischer Rollen- und Abenteuerspiele. Franzi ist mit einem PDA ausgestattet, in dem Kontakte und Aufgabenlisten stecken und bewegt sich mausgesteuert durch ein realitätsnahes Ambiente. Sie trifft unterschiedliche, sehr detailliert gezeichnete Charaktere aus dem Betriebsumfeld und wird auf ihrem Weg mit typischen FM-Situationen konfrontiert, die um Haustechnik, Raum- und Nachhaltigkeitsmanagement kreisen. Die Programmierung beinhaltet zum Beispiel dynamische Texturen, das heißt, das Gebäudematerial kann im Spielverlauf altern, die Solaranlage auf dem Dach bekommt Risse oder die Treppen rosten. Franzi muss den Handlungsbedarf erkennen. Mit jedem Level, das der Spieler bewältigt, steigt auch sein Verantwortungsbereich; es kommt zu Havarien, die Hindernisse werden größer. Mit zunehmender Spieldauer muss der Spieler Gelerntes anwenden und dabei immer Zeit und Budget in Blick behalten [Le13].

3.3 SmartER Game

Das Forschungsprojekt "SmartER Game" verfolgt das Ziel, eine Erhöhung der Akzeptanz von Smart Meter-Technologien und eine verstärkte Sensibilisierung für energieeffizientes Verhalten zu erreichen, um so insgesamt einen Beitrag zu mehr Energieeffizienz in Privathaushalten zu leisten. Hierfür wird ein Webportal entwickelt, welches neben einer reinen Visualisierung des Strom- bzw. Gasverbrauchs auch spielerische Elemente, im Sinne eines Serious Game, in den Monitoring- und Feedback-Prozess einbezieht. In Folge soll eine Synthese aus spielerischen Anreizen (z. B. Spaß, Wettbewerb) und "echter" Energieeinsparung als direkter Mehrwert entstehen und gleichzeitig Rebound-Effekte minimiert werden. Die Förderung des Forschungsvorhabens erfolgt im Rahmen der Forschungsinitiative ZukunftBAU durch das Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung[11].

3.4 EnerCities

Das Ziel des Online-Spiels EnerCities ist es, virtuelle Städte zu schaffen und zu erweitern, die sich mit Umweltverschmutzung, Energieknappheit, erneuerbaren Energien usw. beschäftigen. Das Projekt wurde durch das Programm "Intelligent Energy" der Europäischen Kommission finanziert und zielt darauf ab, das Bewusstsein für Energiefragen bei Jugendlichen zu verbessern. Es wurde von den beteiligten Projektpartnern an Schulen in Großbritannien, den Niederlanden, Slowenien, Griechenland, Deutschland und Spanien eingeführt.[12] Ergebnisse aus explorativen

[10] http://playfm.htw-berlin.de/das-projekt/, Letzter Abruf: 16.05.2017
[11] http://www.smartergame.de/?page=project, Letzter Abruf: 15.05.2017
[12] http://www.paladinstudios.com/enercities/, Letzter Abruf: 15.05.2017

quantitativen und qualitativen Pilotstudien und Feldversuchen kommen zu der Schlussfolgerung, dass nachhaltiges Denken und Umweltbewusstsein bei den Spielenden gesteigert werden und ein positiver Einfluss auf die energiebezogenen Verhaltensweisen des täglichen Lebens eintritt [Kn11].

3.5 Energetika

In Rahmen des Wissenschaftsjahres 2010 wurde von DIALOGIK, in Zusammenarbeit mit der Spielentwicklungsfirma takomat in Köln, dem Forschungszentrum Jülich (KFA), dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) und anderer einschlägiger Wissenschaftseinrichtungen, das Energiespiel ENERGETIKA 2010 entwickelt. Generelles Lernziel ist es, Jugendlichen Wissen und Perspektiven zum Thema Energieforschung zu vermitteln und das systemische Denken in komplexen Systemen zu fördern. Aufgabe ist es, die Stromversorgung des Landes über einen Zeitraum von 40 Jahren nachhaltig sicherzustellen. Neben einem numerischen Feedback erhalten die Spielerinnen und Spieler fachliche Hilfe durch ein Wissenschaftlerteam sowie emotionales Feedback durch Kommentare der Bevölkerung. Bei der Konzeption und Modellierung des Spiels wurden alle Aspekte der Erzeugung, Übertragung und Nutzung von Strom berücksichtigt. Investitionen in Forschung und Entwicklung erschließen zukünftige Innovationen wie Strom aus Wüstenregionen, ein effektives Smart Grid oder die Fusionsenergie. Aber auch Stromsparpotentiale lassen sich nutzen, etwa durch den geschickten Einsatz von zur Auswahl stehenden Kampagnen. Dem Spiel liegen dabei reale Daten zugrunde, die sich am Energiemix der Bundesrepublik Deutschland orientieren[13].

3.6 A new beginning

Das auf einer Forschungsarbeit der Universität Kiel beruhende Spiel startet mit der Apokalypse: Im Jahre 2500 ist die Erde durch den Klimawandel zerstört: London ist überflutet, Moskau unter Eis begraben und in Sydney wütet ein Feuersturm. Die Menschheit kann nur noch Untertage leben. Um die Welt doch noch zu retten, wagt ein Team einen Zeitsprung. Doch dieser läuft nicht ganz nach Plan und sie landen im Jahr 2050[14].

3.7 2020 Energy

2020 Energy baut auf der Wirkungsweise eines Videospiels auf und sein Gameplay bietet eine Synthese aus Spielen und Lernen. Die Aufgabe des Spielers ist es, den Energieverbrauch zu senken, die Energieeffizienz zu steigern und die geeignetsten erneuerbaren Energien auszuwählen. Hilfe bekommt der Spieler von drei Beratern aus den

[13] http://www.dialogik-expert.de/de/forschung/Energiespiel.htm, Letzter Abruf: 13.05.2017
[14] https://web.archive.org/web/20140516213542/http://www.anewbeginning-game.de, Letzter Abruf: 14.05.2017

Bereichen Wirtschaft, Umwelt und Gesellschaft. Es liegt aber allein am Spieler, gute Entscheidungen zu treffen, um unsere gemeinsame Zukunft zu verbessern.[15]

3.8 Wassermanagement im Klimawandel

Im Rahmen des vom Bundesforschungsministerium (BMBF) geförderten »Innovationsnetzwerk Klimaanpassung Brandenburg Berlin«, kurz INKA BB wurde das Ziel verfolgt, Forschungsergebnisse einem breiten Publikum zugänglich zu machen und dieses so für die bestehende Problematik des Klimawandels zu sensibilisieren. Gemeinsam haben die Partner ein Serious Game entwickelt, das sich an Schüler der Oberstufe, an Studenten, Nichtregierungsorganisationen sowie mit der Wassernutzung befasste Akteurs-Gruppen richtet und eine typische Landschaft in Brandenburg abbildet. Simuliert werden Klimaszenarien in einem Zeithorizont von 50 Jahren, wobei dem Spieler die Rolle eines regionalen Beraters für Wassermanagement zukommt. In dieser Rolle muss er entscheiden, wie Landflächen genutzt und die Wasserversorgung sowie das Regenwassermanagement organisiert werden – und später die Verantwortung für seine Entscheidungen tragen. Die Herausforderung im Projekt bestand vor allem darin, mögliche Klimaszenarien so realitätsnah und anschaulich und gleichzeitig so verständlich wie möglich für Interessierte verschiedener Altersgruppen aufzubereiten. Durch die Transformation eines realen Flussgebiets in eine schematisierte virtuelle Welt ist es gelungen, die Möglichkeiten und Grenzen der Anpassung an den Klimawandel spielerisch einer breiten Masse zu vermitteln.[16]

3.9 World of Warcraft, Quest: Environmental Awareness

World of Warcraft ist ein Massive Multiplayer Online Role-Playing Game. Das von dem Unternehmen Blizzard Entertainment entwickelte Online-Spiel zählt nicht zu den klassischen Serious Games. Trotz allem hat auch dort der Umweltgedanke Einzug gehalten. In der Version „Cataclysm – Abyssische Tiefen“ gilt es, den perfekten Biotreibstoff herzustellen.[17]

4 Einsatzmöglichkeiten von Serious Games für die ganzheitliche Umweltbetrachtung – Ein Ausblick

Die Potenziale der Serious Games wie auch die Grenzen für die Umweltinformatik können in diesem Zusammenhang nur angedeutet werden. Die Übersicht und auch das

[15] http://www.2020energy.eu/, Letzter Abruf: 14.05.2017
[16] http://ap-verlag.de/serious-game-wassermanagement-im-klimawandel-zeigt-wie-unsere-umwelt-in-50-jahren-aussehen-kann/5503/, Letzter Abruf: 14.05.2017
[17] http://wowdata.buffed.de/quest/Abyssische-Tiefen/Umweltbewusstsein-26122, Letzter Abruf: 14.05.2017

anspruchsvollere Spieledesign zeigen, dass das Medium immer breitere Anwendung findet. Die Mehrzahl der Spiele sind Themenbezogen und rücken lediglich einen Aspekt der Nachhaltigkeit in den Fokus. Ein Ansatz, der viele Aspekte der Umweltinformatik abdecken könnte, scheint wegen der komplexen Materie kaum realisierbar. Der Ansatz eines SG benötigt klare Grenzen und eine klar definierte Zielgruppe, innerhalb deren die Spielidee greift. Weiterhin bedarf es einer direkten Verzahnung der Lern- und Motivationsinhalte und der spielerischen Konzeption, welche eine hohe Realitätsnähe aufweisen muss. Die Hauptanforderungen an SG liegen in ihrer Schlankheit und der Fähigkeit der Systemunabhängigkeit, um sie an verschiedene Endgeräte unterschiedlicher Betriebssystemhersteller adaptieren zu können. Schon deshalb lohnt die frühzeitige Beschäftigung mit SG für das Feld der Umweltinformatik und Nachhaltigkeit. Mit smarterem Design und sinkenden Entwicklungskosten könnte auch die Entwicklung von SG (-Apps) ein weiteres Anwendungsfeld sein, um nachhaltiges Denken über Spiel in Unternehmen oder in der Ausbildung zu implementieren. Die Mehrzahl der existierenden Serious Games für den Umweltbereich fokussiert sich vorrangig auf die Themenbereiche Energie oder Landschaft. Im Folgenden sollen Ansätze von Einsatzmöglichkeiten der SG, ganzheitliche Umweltaspekte abzubilden, konzeptionell diskutiert werden.

4.1 Spielerisch das Umweltbewusstsein im Alltag steigern

Für die Steigerung des Bewusstseins hinsichtlich Energie-, Ressourceneffizienz sowie Verringerung der Umweltbelastung soll der gewöhnliche Alltag abgebildet werden. Der Spieler wählt für seinen Avatar zuerst spezifische Gewohnheiten seines alltäglichen Lebens aus. Darauf aufbauend ist er angehalten, mit möglichst wenigen Einschränkungen seines Komforts verschiedene Umweltaspekte in seinem Alltag zu optimieren. Dafür erhält der Spieler neben Handlungsempfehlungen „Belohnungen“ bei der Umsetzung von Optimierungen. Dabei werden die Bereiche „Wohnen“, „Konsum“ und „Transport“ betrachtet. Faktoren für „Wohnen“ können demnach die Umgebung (Stadt/Land) sowie die Art (Haus/Wohnung mit dem Parameter Größe in m^2) sein. Dazu kommen die Energie- und Wasserversorgung. Belohnt werden beispielsweise Maßnahmen wir Aufbau einer Photovoltaikanlage, Verringerung der Nutzung der Klimaanlage, Mülltrennung, Ausschalten des Stand by-Modus der Elektrogeräte, Stoß- statt Dauerlüften. „Konsum“ betrachtet das Einkaufsverhalten (Lebensmittel, Verbrauchsgüter, Elektro-/Kommunikationsartikel, Abfall) und Transport die beruflichen und privaten Fortbewegungsgewohnheiten.

4.2 SG für die Sensibilisierung der ökologischen Betrachtung von Stoffströmen in der Produktion

Für die ganzheitliche Betrachtung der betrieblichen Stoff- und Energieströme in Produktionsprozessen kann ein SG bei der Aus- und Weiterbildung der Mitarbeiter in der

Fertigung unterstützen als auch das Bewusstsein für eine ökologischere, ressourceneffizientere Produktion stärken. Die Mitarbeiter könnten spielerisch in dem virtuellen Abbild ihrer Produktionsstätte Stoff- und Energieströme anpassen, um eine Optimierung der Arbeitsprozesse vorzunehmen. Das Spiel erteilt den Anwendern Rückmeldungen mit Bewertungen ihres Verhaltens. Auf dieser Basis passt der Spieler seine Produktionsparameter (Energie, Material, Wasser, technische/physikalische Maschinen- und Umgebungsgrößen) an. Zur Steigerung der Motivation kann die Möglichkeit geschaffen werden, die Mitarbeiter gegeneinander in einer Art Wettkampf anzutreten, bei welchem durch das Unternehmen Preise für die teilnehmenden Mitarbeiten ausgibt.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Implementierung spielerischer Elemente in der Umweltinformatik ein gangbarer Weg ist, Nachhaltigkeit unterhaltsam zu verankern und die Motivation für umweltschonende Maßnahmen zu fördern.

Literaturverzeichnis

[Ab87] Abt, C. C.: Serious Games. University Press of America Inc., 2. Auflage, Boston, 1987.

[Bo14] Bösche, W.: Serious Games und Bildung, https://www.lmz-bw.de/fileadmin/user_upload/Medienbildung_MCO/fileadmin/bibliothek/boesche_serious_games/boesche_serious_games.pdf, 2014, Letzter Abruf: 13.05.2014

[Fr10] Fromme, J., Biermann R., Unger A.: Serious Games oder taking Games seriously? Digitale Lernwelten, 2010.

[Go11] Goertz, L.: Einsatzmöglichkeiten für Serious Games in Unternehmen. URL: http://www.mmb-institut.de/download/fachbeitraege/Personalfuehrung_2-2011_Serious-Games_Spielerisch-lernen-und-Zusammenhaenge-erkunden.pdf (2011), Letzter Abruf: 13.05.2017.

[Kn11] Knol, E., De Vries, P. W.: EnerCities, a Serious Game to Stimulate Sustainability and Energy Conservation: Prelininary Results. eLearning Papers, Nr. 25, July 2011, ISSN: 1887-1542

[La09] Lampert, C., Schwinge C., Tolks, D.: Der gespielte Ernst des Lebens: Bestandsaufnahme und Potenziale von Serious Games (for Health), in: MedienPädagogik, www.medienpaed.com/15/lampert 0903.pdf, Letzter Abruf: 13.05.2017.

[Le13] Lepiorz, R.: Ein unterhaltsamer Prototyp. In (Hrsg.: Innovationspark Wuhlheide Managementgesellschaft mbH) innotech. Magazin der Technologieregion Berlin Südost. Nr. 3/13, August 2013, S. 16-17

[Ma10] Marr, A. C.: Serious Games für die Informations- und Wissensvermittlung – Bibliotheken auf neuen Wegen. Band 28 von B.I.T. online – Innovativ. B.I.T. Verlag, 2010

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 2027

Flexible Software Support for Mobility Services

Ali Akyol[1], Jantje Halberstadt[1], Kimberly Hebig[2], Jan Jelschen[2], Andreas Winter[2], Alexander Sandau[3] und Jorge Marx Gómez[3]

Abstract: Demographic change and growing urbanization are essential reasons for the increasing demand for mobility in rural areas in Germany. Municipalities in sparsely populated counties are confronted with the problem of providing a basic supply of public mobility services. Especially for rural areas, established public transport means have to be complemented by additional, new, and innovative mobility services. NEMo (Sustainable satisfaction of mobility demands in rural regions) pursues the development of sustainable and innovative mobility services based on tailored business models for rural areas. Traveler information systems are enhanced to handle a range of active and passive mobility services in a very flexible way. Within this paper, three flexible cases are demonstrated. The SENSEI framework for software evolution provides improved software support by adding and modifying capabilities of the existing services to re-orchestrate and re-implement mobility services.

Keywords: mobility services, sustainability mobility, flexible software architecture, software integration, service oriented architecture.

1 Introduction

In Germany, more than 60% of the population lives in rural areas [Bu15]. For rural municipalities and counties, it is becoming increasingly more difficult to ensure a basic supply of public mobility services, such as buses and trains, without asking the question of necessary social participation, meaningful regional creation of value, and last but not least feasible environmental objectives. As rural areas often lack their own infrastructure, such as medical services or shopping malls, a greater dependency on the nearby cities arises. The important connection to these institutions cannot be achieved reliably by public transport [Zä00] [Mo06]. With the help of information and communications technology (ICT), the interdisciplinary and transdisciplinary research project NEMo offers a new opportunity for citizens in rural areas, to simplify their mobility [Je16]. One objective of the NEMo is to provide solutions for sustainable mobility and at the same time ensure an eco-friendly mobility system [CP15]. Nevertheless, it is very important to achieve maximum flexibility in the software system in order to implement new mobility services and increase the flexibility to integrate new business models, components and processes [AH12; Sa13]. The NEMo project focuses on an interdisciplinary and transdisciplinary

[1] Leuphana University Lüneburg, Social Entrepreneurship, {ali.akyol, jantje.halberstadt}@leuphana.de
[2] Carl von Ossietzky University Oldenburg, Software Engineering, {hebig,jelschen,winter}@se.uni-oldenburg.de
[3] Carl von Ossietzky University Oldenburg, Very Large Business Applications, {alexander.sandau, jorge.marx.gomez}@uni-oldenburg.de

doi:10.18420/in2017_203

approach with different departments, such as software engineering, business information systems, law, service management, social entrepreneurship, etc. [NE17]. Therefore, it is essential to create one taxonomy which integrates several heterogeneous business models and their software support in the NEMo information system.

The next chapter will explain the intention of the taxonomy, clarify the benefits, and show its importance. Afterwards, the third chapter will present the business models, which can be included into the mobility platform by using SENSEI which provides flexibility in orchestrating service [Je15a]. Its flexibility will be illustrated by three examples: adding capabilities, extending orchestrations, and changing component mappings. The conclusion will summarize the relationship between flexible software design and sustainability.

2 Taxonomy of mobility services

In the last chapter, the problem state was shown. With the taxonomy in this new chapter there are the means to build a foundation for communication in the NEMo project. The taxonomy outlines the layers of NEMo and highlights the associations between them. It constitutes the frame to describe any mobility service from the business process to the technical view. One can differentiate between four layers composed equally of composite patters: Mobility Services, Business Models & Processes, IT Services and IT Components.

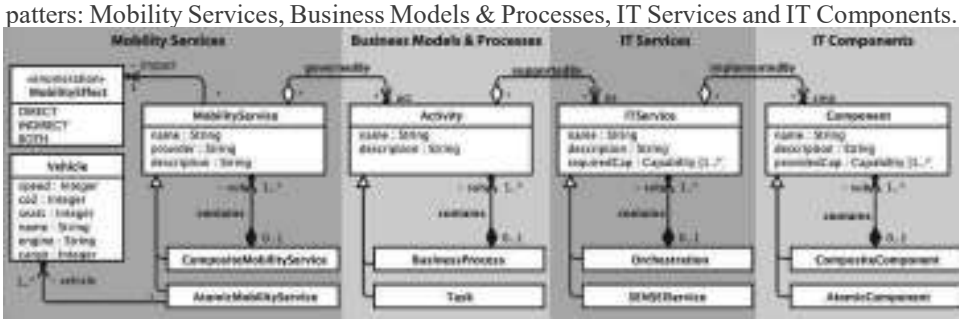


Fig. 1: UML class diagram depicting the main concepts of the NEMo taxonomy.

This distinction is needed because the mobility services are part of the mobility while the business models and processes take place in information management. IT-services provide abstract descriptions of the software which are implemented by IT-components.

2.1 Mobility Services

A mobility service aims at transporting people (or things) by using vehicles economically and ecologically [AH06]. In other words, having environmentally conscious behaviour while earning money. A mobility service is also a combination of atomic mobility services. This is needed because of intermodal route planning. Whenever a person wants to get to one point and move on to another, a combination of mobility services is used. Any

mobility service can be used to directly transport people, indirectly transport things, or to both transport people and things simultaneously. This is called the "impact of the mobility service". Moreover, a mobility service has a provider who offers it and a description where the business model is shown. The business model is how the mobility service strategically acts to earn money [Ba96].

2.2 Business Models & Processes

No mobility service can act without people using it. The latter describes human actions. It defines the tasks they must take before, during, and after using the mobility service. Activities that are made up of more than one task are called business processes [Ro05]. Every activity has a description and a name showing what people are doing in the business process and the tasks themselves. The activities can be supported by IT-services. In chapter 3 the user oriented layers, mobility services, and activities will be characterized in detail.

2.3 IT-Services

An IT-service is a description of how a software component should work and how a software component should work and instead of focusing on activities related to human behavior, IT-services focus on appropriate functionalities. [Je15b]. An IT-service is not the implementation as one part of the software but its description. The description is sufficiently complex and granular to be understood from the technical and from a more activity based view. The atomic ones are small parts of the software which must be orchestrated to IT-services. The required capabilities are needed because of the SENSEI-approach, as it can generate components with same capabilities.

2.4 Components

A component is the technical implementation of the IT-Service. Many components are based on atomic services that are combined by components leading to composed components. This is necessary because many functions are provided by combinations of smaller components [Je15b]. It is also needed to have components that implement SENSEI-services because of the recoverability a component has. Moreover, even if the SENSEI-services are different the components could be the same. In the fourth chapter, these two technical layers will be characterized in detail.

Summarized, the taxonomy shows four layers building the frame to describe a mobility service from the business model, the user interactions, the ICT support, and the software components. This taxonomy is needed for the following chapters in order to properly describe mobility services.

3 Business Models of Mobility Services

In NEMo, business models with direct and indirect impact on mobility services (Fig. 1) are developed and generate the additional value to simplify the mobility and to improve sustainability. The following table shows mobility services separated by the two different impacts each can have. Mobility services 1-3 have a direct effect while mobility services 4-6 have an indirect effect on the mobility of citizens in rural areas. The mobility services with a direct effect address the mobility of the citizens and try to improve the ecological balance. The others are avoiding mobility by providing surrogate services. All of the shown mobility services are used in the software built into the NEMo project as support for the user, a citizen in a rural area. Business model 1 is the mobility service of carpooling realizing an intelligent coordination platform.

No	MS with direct impact	No	MS with indirect impact
1	Carpooling	4	Supermarket delivery service
2	Collection service for groups	5	Babysitting vs. Shopping
3	Supermarket collection service	6	Social cook

Tab. 1: Mobility services sorted in types

A user having a car can integrate the routes into the software he usually takes (e.g. to work). He must state information such as start location, start time, and destination. A user without a car has the opportunity to search for routes, he wants to take. The NEMo platform will identify possible carpools and initiate the communication between driver and passenger. A user, searching for available routes will get the results of his search request shown on a dashboard. The request can be accepted or denied by the car owner.

The business model „collection service for groups„ (business model 2) will improve the mobility for a group of people through the NEMo platform. The objective of this service is to provide a sustainable mobility service in rural areas. The service is designed as a pick-up and delivery service. This service is flexible to use and eco-friendly when citizens create groups to use mobility services.

The next business model is the „supermarket collection„ service (business model 3). This mobility service will collect a group of users for a shopping trip to a nearby supermarket. After their purchases, they will get home via the collecting service. The supermarket earns a profit by offering this mobility service because of rising the number of customers. Additionally, the citizens of the rural areas have a better and more comfortable opportunity to get to a supermarket.

The „supermarket delivery service„ (business model 4) is also a kind of delivery service but more eco-friendly. This business model is a mobility service with an indirect impact to the environment. The difference from a classic delivery service is, that the delivery starts, when several households order their goods. The supermarket will deliver twice a week and flexibly, if more households take an order.

The business model „babysitting vs. shopping„ (business model 5) is also a mobility service with indirect impact. This mobility service creates an additional value for users. People, who are not able to drive to the shopping mall themselves, can register on the NEMo platform for babysitting. Parents with children can search on the platform for a babysitter. They have to state the times a babysitter is needed. In return for the work of the babysitter, the parents will do the shopping for them.

An extended version of the previous mobility service is the business model of „social cooking„ (business model 6) which also has an indirect impact. The scenario is similar to the babysitting model. The main difference is the work of the person having no opportunity to get to the supermarket has to do. They will prepare a dinner and calculate the costs for the visitors signing in. In return the dinner, the visitor will do the shopping for them. To implement the mobility services mentioned before as IT components, it is necessary to describe the IT services. The IT services show how an IT component should work functionally. In the next chapter one IT service is described in detail: findRoute. The IT service was chosen because it takes part in each mobility service. The SENSEI approach is used to build up a catalog of IT services generating a higher level of flexibility. These flexibilities can be mapped to the mobility services (sec. 4).

For example, the first flexibility scenario for findRoute is to add capabilities, add a vehicle, and choose the shortest route with the vehicle (sec. 4.1). The second flexibility scenario shows it is possible to support intermodal route finding (sec. 4.2). Different mobility services, such as carpooling and supermarket collection service can be orchestrated, whereby the user gets the maximum amount of flexibility to plan a route. The third software flexibility support of SENSEI enables components to be modified, updated or replaced (sec 4.3). Therefore, it is possible to add a new route finding, modify the current route finding, or replace the current route finding component with a new one.

4 SENSEI

The last chapter gave an overview about mobility services and their business models. This chapter will show the way IT services are building the foundation to implement IT components in order to provide software for citizens in rural areas. Moreover, the SENSEI approach will be introduced.

SENSEI (Software Evolution Services Integration) is a service-oriented approach and framework towards building and integrating highly flexible applications from reusable components [Je15b]. On the one hand, it prescribes a strict separation of conceptual, technology-independent services, and the implementation by components on the other hand. Much more than generally practiced in service-oriented architectures, let alone the technical standards commonly associated with them for their realization (e.g. SOAP-based web services, or RESTful services). The service and component layers are bridged using model-driven techniques, to automatically derive processes and integration logic from high-level models – either by means of code generation, or by a model interpreter at

runtime.

Using SENSEI, basic units of functionality, their inputs, outputs, and capabilities are defined, described, and collated in a **service catalog**. Subsequently, desired application behavior is modeled as **orchestrations** of services: SENSEI defines a process-oriented, graphical language to specify control and data flow between instances of services selected from the catalog as needed.

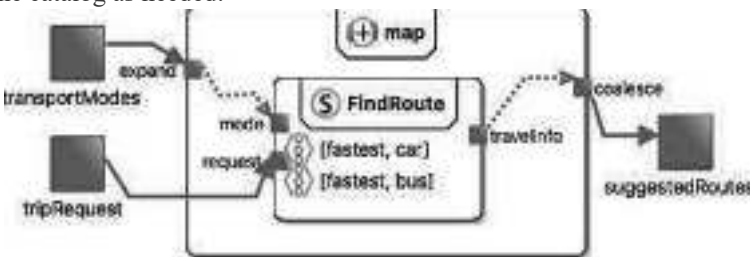


Fig. 2: Simplistic SENSEI service orchestration for basic route planning.

Figure 2 shows a very simple orchestration, using only a small IT service, *FindRoute*, to implement basic route planning functionality. The service catalog defines *FindRoute* to require two inputs, the desired *mode of transportation*, and the *trip request*, which encodes starting point, destination, time of departure or arrival, and potentially further travelling constraints. The service's output contains the *traveling information* (e.g. a list of driving directions). The orchestration nests the service instance within a map control flow construct. This is basically a (potentially concurrent) loop that executes its body once for every element in the input stream (expand), and collects the individual results (*coalesce*). As a result, this orchestration calculates a route for each of the specified transportation modes, and returns them as collection of *suggested routes*.

SENSEI services can further have *capabilities* to model specific features which implementations may or may not support. For *FindRoute*, there are *two capability classes* defined in its catalog entry, which represent variation points for implementing components: an *optimization goal*, with individual capabilities to find (e.g. the *fastest*, *shortest*, or *cheapest* route), and a *transport mode*, whose capabilities representing support for finding (e.g. *car*, *bus*, or *walking* routes). In orchestrations, designers can declare their required capabilities for each instantiated service: in Figure 2, the *FindRoute* function is required to support finding the fastest routes for private cars and public busses.

The actual implementation of the functionality, defined by the IT services, is implemented by components, listed in SENSEI's **component registry**. Besides each IT component implementing specific IT services, registry entries also declare *provided capabilities* to further specify the extent of the provided functionality. SENSEI's capability model is leveraged by its tooling to automatically match orchestrated IT services and their required capabilities to appropriate IT components that provide them.

Through the clear separation of specification and actual implementation, the service layer is kept clean of technical details and complexities, making it easier to develop and evolve. The separation also enforces a strict encapsulation of individual IT services and IT components, respectively, ensuring that no accidental dependencies "creep in", an otherwise common effect of long-term software evolution. Integration logic is either generated, or provided generically by an interpreter, reducing manual effort and further improved flexibility. Three basic flexibility mechanics can be identified in SENSEI and for each of these mechanics, an example scenario is given in the following section to provide details of their respective workings.

1. Adding or modifying required capabilities.
2. Extending or modifying existing orchestrations, or re-orchestrating existing services.
3. Mapping orchestrated IT services to different IT components, or partitioning functionality in IT components in different ways.

4.1 Adding Capabilities

The NEMo project aims at supporting mobility in rural areas in a sustainable, environmental friendly manner. Mobility services like the <carpooling> could therefore be improved if route planning would also provide *shortest* routes, instead of *fastest* routes, assuming the former are generally more ecological than the latter due to lower carbon emissions.

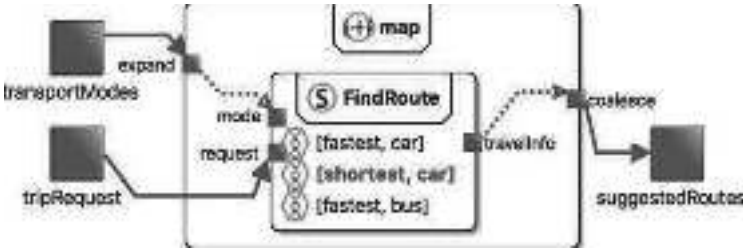


Fig. 3: Basic route planning with an additional required capability.

Figure 3 shows an orchestration that has been extended to support this use case. The only difference from Figure 2 is the additional required capabilities for private cars, *shortest* routes will also be provided. In the optimal case, this minimal change is all that is required to add this functionality. SENSEI will automatically integrate additional IT components as needed. In simple cases, as with this example, it is not unlikely that the originally used implementation might also already support this additional functionality. However, SENSEI does not depend on a single component to provide all the required capabilities, but is able to map a small service instance to combined components. The right IT component will be chosen at runtime, based on the declared or provided capabilities and the actual input data.

In the same manner, support for additional transportation modes can be added. What kind of features can be added or modified depends on how IT services are modeled, i.e. what capability classes they define. Of course, this flexibility mechanism assumes that the actual functionality is already available, implemented in registered components, so that SENSEI will be able to integrate them into the modified software solution, fully automatic. Even if IT components are missing and have to be implemented, another benefit of using SENSEI is that the standardization provided through the service catalog facilitates reuse: Once a service is implemented in an IT component, it becomes available for future usage in different contexts. In the long run, the set of components will grow, reducing the need for manual implementation and the effort involved. This makes this scenario more viable over time.

4.2 Extending Orchestrations

An important consideration to take regarding NEMo is the combination of mobility services to provide comprehensive, demand-based mobility options. The basic route planning example is insufficient for this: instead, the ability to provide *inter-modal routing* is needed, meaning the combination of multiple modes of transportation within a single route [Je16].

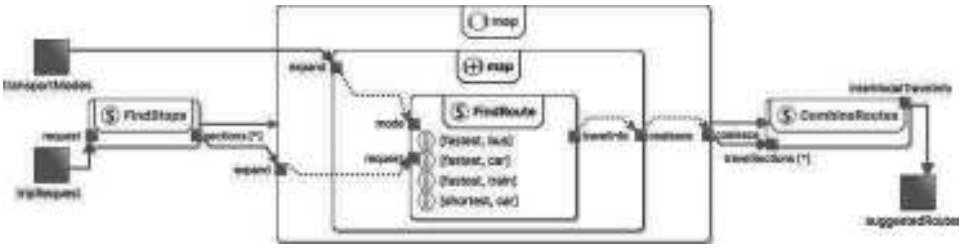


Fig. 4: Inter-modal route planning orchestration.

A straight-forward way to evolve the SENSEI-integrated software system that provides the route planning functionality is to extend the existing orchestration with additional IT service instances. Figure 4 shows an orchestration for *inter-model route planning*. At its core, it still contains basic route planning, but has two additional IT service instances, and uses another *map* control flow construct.

The first step is now performed by an instance of the *FindStops* service, which takes the trip request and tries to partition it by determining reasonable places to switch transport mode (e.g. bus stops and train stations). This results in a set of sub-requests, with the discovered stops as new points of origin or destinations. The outer map construct iterates these, so that the *FindRoute* instance will now be invoked once for each pairing of sub-request and transportation mode, yielding multiple, partial routes. The last step is to stitch these partial routes together again, so that they satisfy the original travel request, which is done by *CombineRoutes*.

The high abstraction level of orchestrations simplifies the task of defining and evolving the desired processes. Orchestration designers do not have to address different interface or binding technologies, disparate data formats, and technical incompatibilities between IT components of different vendors or providers. SENSEI shifts the burden of providing interface adapter and data transformation logic from software integrators to component developers, and imposes a structure that promotes its reusability, as opposed to fusing it to individual components. The fact that integration logic is either auto-generated and thus "discardable", or provided at runtime by an interpreter, prevents SENSEI-based software systems from becoming entangled in hard-wired dependencies.

4.3 Changing Component Mappings

To realize the functionality modeled in orchestrations, SENSEI maps the instantiated IT services to the IT components providing them. There is an n-to-m relationship between IT services and IT components: as stated earlier, a small service can be implemented by combined components employing different capabilities, and the opposite is also possible, with an atomic component providing multiple, different services.

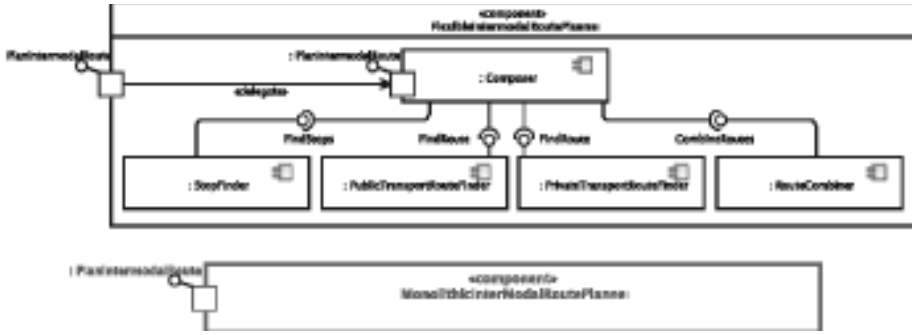


Fig. 5: Composition of combined components, and a monolithic component, both implementing the PlanIntermodalRoute service

In this regard, SENSEI does not make any assumptions. In other words, invoking IT services for IT components always assumes that they have no knowledge of the overall process they are contributing to, and that they cannot, and will not, communicate directly with other IT components. All information goes through a central hub, the *composer*, which can be seen in the top half of Figure 5. This IT component diagram shows an IT component composition that realizes intermodal route planning, as specified by the orchestration in Figure 4. The *FindStops* service is mapped to the component *StopFinder*, and CombineRoutes is mapped to *RouteCombiner*. *FindRoute* is associated to two components: *PublicTransportRouteFinder* provides the capability for bus and train routes, while *PrivateTransportRouteFinder* provides routes for driving a private car and walking.

The composer realizes the control and data flow specified by the orchestration, invoking

the right IT components in the right order, and passing along data. The composer is either fully auto-generated, or is embodied by an interpreter. The whole composition of composer and service-providing IT components provides the *PlanIntermodalRoute* service, which is also induced by the corresponding orchestration. This IT service can be instantiated in other orchestrations, forming the hierarchy of IT services and orchestrations seen in the IT *Services* layer of Figure 1.

This architecture of completely isolating individual components is essential to delivering SENSEI's stated goal of sustainable, high flexibility and reusability. Allowing direct communication between components and interdependencies would quickly undermine this objective. However, these benefits are traded in for a potential curtailment of other attributes, e.g. run-time performance. While a smart composer, and the overall SENSEI infrastructure, could certainly try to put optimizations in place (e.g. to reduce the data traffic through caching, in general, there will be an overhead). It is also a matter of finding the right level of granularity for IT services: more finely-grained IT services may be more reusable, but more coarsely-grained ones may allow for more internal cohesion, and optimizations that would otherwise incur a steep performance penalty because of the higher communication overhead.

While orchestrations are also IT service instances (*PlanIntermodalRoute*), they can also be mapped to an atomic monolithic IT component, as suggested in the bottom half of Figure 5. Such an IT component could, for example, realize a more complex route-finding algorithm that requires its constituents to be more closely attuned to each other and share large amounts of data. Comparable to the individual service-providing IT components above, such an atomic IT component is viewed by SENSEI as a black box, only having to adhere to the interface defined by the IT service, while the exact manner of implementation is left unconstrained. Specifically, a monolithic component does not have to follow the process prescribed by an orchestration. With this mechanism, SENSEI allows trade performance and scalability against flexibility and reusability. The latter only has to be sacrificed for select parts of an overall software system, for which performance is critical. Also, such monolithic implementations fit into SENSEI seamlessly, being treated like any other component, just providing a more coarse-grained service.

5 Evaluation

As previously introduced, the mobility landscapes change rapidly with ongoing market dynamics. As a result, new mobility providers with correlating mobility services arising have to be integrated into the corresponding traveler information system. The proposed integration of the SENSEI framework enhances the existing traveler information system of the NEMo project in terms of flexibility and leading to a more sustainable software design. To show the benefits of this integration three different scenarios have been chosen to demonstrate the software support by adding/modifying capabilities of services, re-orchestrating, and re-implementing mobility services. To achieve the integration of the

SENSEI framework, the existing IT services have to be cut up into small parts of functionalities. This enables the existing and the integration of new functionalities to be reused and support upcoming business models. In terms of the project, the existing public transport planning service will be divided into the proposed manner according to Figure 3 and Figure 4, resulting in a system architecture as shown in Figure 5. For the first step, existing functionalities of the traveler information system migrate to new architecture. During the following steps, the approach is tested with new business models that are developed in the NEMo project. The system is iteratively tested with citizen participation in field trials in rural areas.

6 Conclusion

The challenge of the inter- and transdisciplinary research project NEMo was to improve the insufficient mobility offers in rural areas. To prevent misunderstanding, a taxonomy was created for the project. Furthermore, business models with direct and indirect impact were developed to simplify the sustainable mobility. For realization, an intelligent and flexible software is required to integrate new business models. With the application of SENSEI, the software system is sustainable and supports three flexibility scenarios.

The first flexibility scenario demonstrated the ability to add capabilities in the mobility services. Despite the changes, the software system proposed the optimized route based on the customer's preferences. For example, the customer can set preferences like fastest or shortest trip, when the software calculates the route it will automatically include all aspects (vehicles such as bus, railway carpooling etc.) and return an optimized result. The SENSEI approach makes it possible, that components can be replaced and new components can be added without to change the whole software system (second flexibility). By using a software which is flexible, it is easier to change IT components, maintain the software, and update with new developed components or business models [Sa13]. For example, to clarify the advantage of the SENSEI framework, the public transport map for bus stops will be updated with new times and parameters which replace or change the maps. It is also possible to add new vehicles like e-cars using one's own map for e-car stations and a new system for calculating the best routes. The third flexibility scenario is the application of SENSEI support of the software in its flexibility and all included components. In summary, of the mentioned facts about the flexible software system, the life cycle of a software system will be extended when it is flexible and expandable [CP15].

Acknowledgement This work takes part in the project "NEMo - Sustainable satisfaction of mobility demands in rural regions". The project is funded by the Ministry of Science and Culture of Lower Saxony and the Volkswagen Foundation (Volkswagenstiftung) through the "Niedersächsisches Vorab" grant program (grant number VWZN3122)."

References

[AH06] Ammoser, H.; Hoppe, M.: Glossar Verkehrswesen und Verkehrswissenschaften: Definitionen und Erläuterungen zu Begriffen des Transport- und Nachrichtenwesens, ger, Diskussionsbeiträge aus dem Institut für Wirtschaft und Verkehr 2006,2; 2/2006, 2006, url: http://hdl.handle.net/10419/22704.

[AH12] Ahrend, C.; Herget, M.: Umwelt-und familien-freundliche Mobilität im ländlichen Raum. Handbuch für nachhaltige Regionalentwicklung. Berlin/, 2012.

[Ba96] Baatz, E.: Baatz, E.B.: Will Your Business Model Float? In: WebMaster Magazine, Stand: 10.1996, 1996, http://www.cio.com/archive/webbusiness/100196_float.html.

[Bu15] Bundesamt, S.: Statistisches Bundesamt (ed.): Statistisches Jahrbuch Deutschland. Wiesbaden/, 2015.

[CP15] Calero, C.; Piattini, M.: Green in Software Engineering. Springer International Publishing, 2015.

[Je15a] Jelschen,J.:Service-OrientedToolchainsforSoftwareEvolution.9thInternational Symposium on the Maintenance and Evolution of Service-Oriented and CloudBased Environments (MESOCA)/, pp. 51–58, 2015.

[Je15b] Jelschen, J.: Service-oriented toolchains for software evolution. In: 2015 IEEE 9th International Symposium on the Maintenance and Evolution of Service-Oriented and Cloud-Based Environments (MESOCA). IEEE, pp. 51–58, Oct. 2015.

[Je16] Jelschen, J.; Küpker, C.A.; Winter, A.; Sandau, A.; Wagner vom Berg, B.; Gómez, J.M.: Towards a Sustainable Software Architecture for the NEMo Mobility Platform. In: Proceedings of the 30th International Conference on Environmental Informatics Stability, Continuity, Innovation: Current trends and future perspectives based on 30 years of history (EnviroInfo 2016). Berlin, 2016.

[Mo06] Für Mobilitätsforschung, I.: Öffentlicher Personennahverkehr - Herausforderungen und Chancen. Springer, Berlin, 2006.

[NE17] NEMo: NEMo - Mobilität, Wissenschaftliche Leistung, Stand: 13.04.17, 2017, url: https://www.nemo-mobilitaet.de/blog/de/projektkonsortium/ wissenschaftliche-leitung.

[Ro05] Rosenkranz, F.: Geschäftsprozesse: Modell- und computergestützte Planung. Springer Berlin Heidelberg, 2005.

[Sa13] Sametinger, J.: Software Engineering with Reusable Components. Springer Berlin Heidelberg, 2013.

[Zä00] Zängler,T.:Mikroanalyse des Mobilitätsverhaltens in Alltag und Freizeit. Springer, Berlin, 2000.

Unternehmensarchitektur in Forschung und Praxis

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 2041

Unternehmensarchitektur in Forschung und Praxis – eine Bestandsaufnahme

Carsten Brockmann[1], Eldar Sultanow[2] und Christian Czarnecki[3]

Im Rahmen des diesjährigen Workshops werden verschiedene Aspekte des Architekturmanagements (Enterprise Architecture Management, EAM) in einer Mischung aus abgeschlossenen und laufenden Forschungsbeiträgen sowie Berichten aus der Praxis beleuchtet.

Als domänenspezifischer Vorschlag werden Referenzmodelle für die Pharmaindustrie sowie dynamische Märkte vorgestellt. Zum Einsatz des EAM in der Empirie werden die Möglichkeiten und Grenzen hierfür bei KMUs betrachtet. Wertschöpfungsketten für das Internet der Dinge erweitern den aktuellen Diskussionshorizont. Das kollaborative Management von Softwareprojekten im Rahmen von EAM rundet den empirischen Teil ab.

Bei den Forschungsbeiträgen wird zunächst der Frage nachgegangen, welche Fähigkeiten und Kenntnisse der digitale Architekt haben sollte. Der Frage, inwiefern das Enterprise Architektur als Katalysator zwischen Qualität, Effizienz und Governance vermitteln kann wird im darauffolgenden Beitrag eingegangen. Der Workshop wird von einem Beitrag zur Entwicklung einer Methode zur Priorisierung von Anforderungen unter Berücksichtigung von Synergieeffekten abgeschlossen.

Insgesamt können wir feststellen, dass die Herausforderungen der Digitalisierung auch Auswirkungen auf EAM haben. So ermöglichen kleinere, iterative Vorgehensmodelle eine höhere Flexibilität. Darüber hinaus bieten domänenspezifische Architekturvorschläge konkrete Lösungen an, die als Input für einen digitalen Architekten dienen können.

[1] Platinion GmbH, Schützenstraße 40, 10117 Berlin, Brockmann.Carsten@platinion.com
[2] Capgemini Deutschland, Am Potsdamer Platz 5, 10785 Berlin, Eldar.Sultanow@capgemini.com
[3] Hochschule für Telekommunikation Leipzig, Gustav-Freytag-Straße 43-45, 04277 Leipzig, czarnecki@hft-leipzig.de

doi:10.18420/in2017_204

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 2043

A Reference Architecture for Digitalization in the Pharmaceutical Industry

Alina M. Chircu[1], Eldar Sultanow[2] and Levent D. Sözer[3]

Abstract: Digital transformation (also called digitalization or, to a lesser extent, digitization) can enhance the customer experience, streamline operations, revolutionize existing business models, and disrupt entire industries. In this paper, we explore the opportunities for digital transformation in the pharmaceutical industry and develop a pharma-specific reference architecture for digitalization. We build on a model initially developed internally at Capgemini and show how it can be used to describe the use of several emerging digital transformation technologies: Internet of Things (IoT), Cognitive Computing (CC) and Augmented Reality (AR). Our analysis presents the architectural implications of each of these technologies for the pharma industry from the perspectives of four standard TOGAF domains (covering the technology, application, data and business architecture) and of four digitalization steps (Sense, Tag and Connect, Ingest, Analyze and Prepare, and Utilize). We also present an integrated view of the business capabilities all three technologies offer to organizations.

Keywords: Augmented Reality, Cognitive Computing, Digital Transformation, Digitalization, Internet of Things (IoT), Pharmaceutical Industry, Reference Architecture, TOGAF

1 Introduction

Digital transformation (also called digitalization or, to a lesser extent, digitization) is predicted to enhance the customer experience, streamline operations, and revolutionize existing business models through the use of new digital technologies such as social media, mobile, analytics and embedded devices [Fi13, IL14]. These technologies enable new ways for companies to create and capture value due to their unique capabilities: providing ubiquitous connectivity for people, things, and industries and replicating information without errors as many times as needed at zero marginal cost [IL14]. First movers and fast-followers in digitalization are predicted to experience significant revenue and profit growth [BLM17]. However, even as the vast majority of companies surveyed over the last few years recognize the strategic importance of digital transformation, few are adequately prepared for the disruption digital technologies will bring to their industry [Fi13; Ka16]. Barriers include, in order of importance: no sense of urgency, lack of funding, limitations of existing information technology (IT) systems, unclear roles, responsibilities, company-wide vision, and business case, silo-ed implementation, culture and leadership skills deficiencies, and regulatory concerns [Fi13].

[1] Bentley University, 175 Forest Street, Waltham, MA 02452-4705, USA, achircu@bentley.edu
[2] Capgemini, Bahnhofstraße 11C, 90402 Nuremberg, Germany, eldar.sultanow@capgemini.com
[3] Capgemini, Potsdamer Platz 5, 10785 Berlin, Germany, levent-deniz.soezer@capgemini.com

doi:10.18420/in2017_205

The pharmaceutical (or pharma) industry – which, according to several statistics, has already exceeded USD 1 trillion in revenues globally - is a good example of this paradox: the potential for disruption is well understood, but companies are not sure how to develop the required capabilities and capitalized on this trend [CHL15]. For example, in Germany, the pharma and healthcare industry cluster is ranked towards the bottom of a digital index scale that measures digital transformation in strategy, product, sales and customer experience, and processes [Ri16]. Current industry trends – a focus on outcome-based care, engaged patients, new competitors, availability of information, and process improvements – are creating opportunities for digital transformation through personalized, 24/7 care, omnichannel interactions, data-driven insights, and real-time responsiveness [CHL15]. Requirements for assigning unique identifiers (serializing), tagging, and tracking and tracing of medication, and, in some cases, medical equipment as well, are being incorporated in legislation around the world, with the European Union leading the way with a 2017 implementation date. This paves the way for further automation of processes and integration of data across various enterprise systems [BCS16; SC15]. Therefore, understanding these emerging digitalization trends is important not only for companies in the pharma industry, but for the software provider companies – such as ERP vendors – as well. This can support novel designs for the business models of the software vendors [Br14], which can then in turn create additional digitalization possibilities. However, the analysis of the potential opportunities often focuses on partial solutions – such as operational excellence in the supply chain [EB16] or digital customer engagement [An15], and no integrated models that can guide digital transformation for the entire industry currently exist. In this paper, we address this gap by developing a pharma-specific model – a reference architecture - for digitalization.

Organizations use architectures to represent, organize and manage complex technologies and the opportunities they offer [WAX15]. We distinguish between several levels of architectures – company-specific enterprise architectures (EA) and industry-specific reference architectures (RA). An EA is defined as the "structures, templates and methods for the overall design and description of an enterprise" [CD17] as a socio-technical system, which includes the enterprise "business and operating model, organizational structure, business processes, data, applications and technology" [ALS12]. An RA provides a templates for a technology solution, capturing both business-facing and technology-facing perspectives [Su16; WAX15], and is developed for a specific industry or function [CD17]. RAs present a high-level, organizing view for an industry, including its processes, stakeholders, organizational, informational and technology structure [CD17]. RAs are important for maintaining consistency, creating a common vocabulary, and generating efficiencies in technology development both internally and externally [Su16]. Industry-specific RAs can be viewed as industry-level templates that can be used to derive EAs for specific companies in that industry while also taking into account the industry-level interconnections [CD17]. A recent example is a telecommunications industry RA which serves as a generalized structure and EA template for telecom operators [CD17]. Company-specific EAs and industry-specific RAs are likely to become more important in the future, as companies and industries develop interconnected business platforms for customers, vendors and business partners to orchestrate the delivery of internal and

external services in effective and efficient ways [SF12].

In this paper, we build on a generic RA model initially developed by several of the paper authors for Capgemini and presented in several industry forums [BCS16; SB17], and show how it can be used to describe the use of several emerging digital transformation technologies in the pharmaceutical industry.

2 Emerging Digital Transformation Technologies: Internet of Things (IoT), Cognitive Computing (CC) and Augmented Reality (AR)

Several important but not yet fully explored digital transformation technologies have emerged in recent years: Internet of Things (IoT), Cognitive Computing (CC) and Augmented Reality (AR).

IoT is significantly enabling the digitization of our society and economy. With IoT, objects and people are assigned unique identifiers, sensors, and actuators, are interconnected through wireless ad-hoc networks such Bluetooth, Zigbee or Z-Wafe, and report about their status and the surrounding environment [Ti16]. According to a recent European Commission (EU) study [Ag14], the market value of the IoT in the EU is expected to exceed one trillion euros in 2020. Globally, over 26 billion IoT devices will be deployed by 2020 [LL15], transforming industries and creating new opportunities for individuals and companies [IL14].

CC includes a variety of emerging IT systems that use artificial intelligence, natural language processing, and machine learning technologies that provide data analysis and decision-making through automated, dynamic learning based on accumulated experience, rather than manual re-programming [HKB15]. CC derives intelligence and knowledge from huge volumes of structured and unstructured data and enables real-time decisions. It relies on new approaches like brain-inspired neuromorphic computing and memcomputing, which have non-von Neumann architectures in which memory and processing logic coexist rather than being separated [Co16]. CC is emerging as an efficient, effective and flexible solution for dealing with ubiquitous data generated by digitalization, although its use, especially in areas that require full documentation and explanation of decisions, still requires further investigation [Kn17].

AR consists of technologies that increase the user's perception and interaction with the real world by placing virtual objects in a real world scene. An AR systems possesses three main characteristics – it "combines real and virtual objects in a real environment", "runs interactively, and in real time" and "registers (aligns) real and virtual objects with each other" [Az01]. The virtual objects' features and behavior is derived from data that has been gathered due to digitalization as well as from information and knowledge that has been discovered from this data by CC.

3 Specifying the Structure of the Digitalization RA

The generic digitalization reference architecture has three major components: architectural domains, digitalization stages, and industry perspectives. Figure 1 presents a graphical representation of this structure.

First, the digitalization RA domains are defined based on one of the most popular open frameworks for reference architecture generation – the TOGAF framework maintained by The Open Group consortium (http://www.opengroup.org/) [BB12; CD17]. This framework has been successfully used in the past to develop industry-specific RAs – such as in the case of the telecommunications industry [CD17]. TOGAF captures architectural requirements in four essential domains: business, data, application, and technology. The business architecture describes a company's strategies, business capabilities, and processes used to meet organizational goals. The data architecture encompasses how the organizational data is stored and accessed, that is, it describes all organizational data, entities and business objects, as well as their relationships. The application architecture reflects the application landscape including the design of each application and the interactions and interfaces between the deployed software solutions. The technology architecture details the hardware and software capabilities required to support the applications, data, and business services, and their interactions [BB12].

Second, the digitalization RA recognizes that digitalization is horizontally divisible into four sequentially arranged digitalization process stages: *Tag, Sense & Connect* (1), *Ingest* (2), *Analyze & Prepare* (3) and *Utilize* (4). While many conceptualizations of process stages can be developed, the RA authors are proposing these four stages based on their collective experience. Further testing of the applicability of these stages is planned for future research. The first stage, *Tag, Sense & Connect*, involves tagging things (non-living objects or living beings) with a unique ID (coded in a Datamatrix 2D label or an RFID tag, for example) and sensors that enable identifying, locating, tracking and/or measuring their properties, movements or gestures and possibly the properties of their environment. It also includes connecting the tagged things so that they may mutually localize and recognize each other and interact with each other via wireless ad-hoc networks. Within the second stage, *Ingest*, all data captured during *Tag, Sense and Connect* is ingested (transferred and organized) into a central repository that is capable of storing large quantities of data. The third stage, *Analyse & Prepare*, includes the analytical processing steps for this data. The last stage, *Utilize*, involves using the previously developed insights in various ways (for example, to manage existing objects or processes, develop new products and services, etc.).

Last, but not least, the digitalization RA recognizes that technology components may be used not only in the target industry, but also across different interdependent industries or sectors. Applications developed and running in different industries may interact or be integrated with each other and data may be exchanged through these inter-industry connections. Business-level synergies across organizations in different industries may exist as well. For this reason, the digitalization RA needs a third dimension describing

different industry perspectives. For example, the pharmaceutical industry is interconnected with the logistics and transportation industry (which supports the movement of pharma products through the supply chain) and the public health industry (which is concerned with improving the healthcare of communities, providing community education, establishing policies and engaging in disease prevention research).

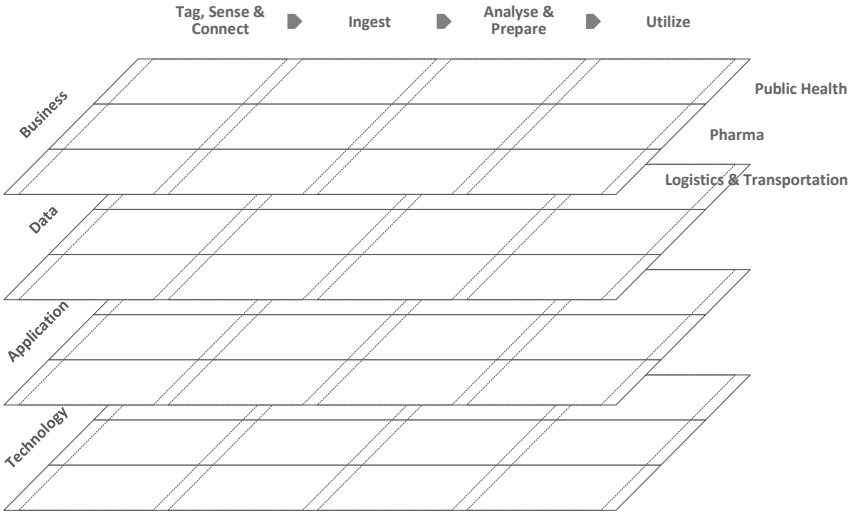


Fig. 1: Fundamental structure of the digitalization RA

4 Constructing a Digitalization RA for Pharma Industry

In the previous sections, we discussed several emerging digitalization technologies and a generic digitalization RA. To develop the specific pharma industry digitalization RA, we investigate the different architectural implications of emerging digital technologies such as IoT, CC and AR in the context of the pharmaceutical industry and related industries (such as logistics and public health).

4.1 IoT Architectural Implications for the Pharma Industry

Pharma IoT includes the digitalization of the pharmaceutical products and related processes with smart connected devices and IT services (web, mobile, apps, etc.) in drug development, clinical trials, supply chains, and patient care.

The **Technology Architecture** encompasses all IoT technologies that support the digitalization steps. The *Tag, Sense & Connect* step covers sensors (which collect data from the environment, such as location, temperature, movement, etc.), actuators and microcontrollers (which control the environment), radio-frequency (RFID) tags or other

transponders which can help store and transmit data, and readers and network communication technologies that enable connections of IoT devices among themselves and with other IT systems. For example, tags enable identification of medication at the individual sale unit level, temperature sensors enable monitoring of allowable ranges during storage and transportation, and movement sensors can detect excessive shaking that may alter the properties of certain medications. This step also includes technologies for serialization (assigning unique identifiers to products), which is quickly becoming a mandate for pharmaceuticals in many countries around the world. In addition, this step may also include security technologies that ensure that the unique identifiers and other device data are not vulnerable to unauthorized reading or subject to tampering, thus preventing counterfeiting. The *Ingest* step covers technologies for managing the collected IoT data – including refreshing, aggregation, compression, archiving, or deletion. Even with extremely large data stores, keeping all IoT data in raw format indefinitely will quickly exhaust the available storage capacity. However, a sufficient level of detail needs to be available in order to support regulatory compliance such as tracking and tracing of medication, to identify and correct quality problems that may occur during manufacturing or transportation of medication, and to facilitate research for improving existing drug formulations and new drug discovery, Finally, the *Analyse & Prepare* and *Utilize* steps cover the processing and utilization of the data – either locally on the IoT device or remotely using other devices and systems.

The **Application Architecture** includes application platforms and software development kits (SDK) that facilitate application development. Examples include Amazon's AWS Greengrass and AWS IoT, which support primarily the *Ingest* and *Analyze and Prepare* domains with cloud-based services. Specific pharma applications can focus on clinical trials (monitoring drugs and subjects to ensure compliance with clinical trial rules), regular manufacturing and logistics (monitoring production, storage and transportation), and provider and patient interaction at the point of care (verifying that a drug about to be administered to a patient is genuine, confirming dosage details and administration information, etc.).

The **Data Architecture** domain covers the data model for capturing, storing and analyzing production data (including unique serial numbers and other important manufacturing data such as lot numbers, expiration dates, security codes, country-specific product codes, etc..), storage and transportation data (including changes in location over time as the product moves in the supply chain within and across manufacturer, distributors, and logistics and transportation provider facilities, and temperature and movement sensor data), patient data (such as formulation and dosage for personalized medicine administration or patient monitoring data) and health cost reimbursement data (such as reimbursement codes).

Building blocks with in the **Business Architecture** domain encompass *Treatment 2.0*, *Personalized Therapy and Health Monitoring*, and *Industrial Internet* capabilities. IoT can be used in drug development and clinical trials to create new treatment possibilities based on advanced sensors and personalized care services – a development also known as

Treatment 2.0 [KL16]. In *Personalized Therapy and Health Monitoring*, smart pills can be designed to incorporate sensors that are safe to ingest and can capture data from inside the body, or use sensors and other mechanisms that provide personalized variable doses and prevent potential abuse or unintentional overdoses. Existing medical devices such as inhalers and insulin pens can also be enhanced with sensor and connectivity technologies to collect data that can inform future care and suggest personalized therapies. Connected wearables can help monitor Parkinson's disease, multiple sclerosis, and other types of patients continuously in real-time and adjust their medication in order to improve patient outcomes and the quality of life. Last, but not least, pharma *Industrial Internet* covers the digital transformation of the product supply infrastructures from manufacturing the medicines to dispensing the medicines to patients. It encompasses manufacturing intelligence (lean and automated manufacturing), software controlled packaging execution (serialization and aggregation), integrated supply chain (traceability and collaboration), and enterprise back-end IT services utilizing supply chain data for analytics, life-cycle management and regulatory compliance reporting [Ke16].

4.2 CC Architectural Implications for the Pharma Industry

From a pharma industry perspective, CC offers a revolutionary approach to enable better use of existing medications and discovery of new drugs. CC provides automated, self-learning systems that can extract new knowledge about specific diseases, symptoms or treatment approaches from unstructured medical data, and assist doctors in making better and faster decisions.

The **Technology Architecture** encompasses all CC technologies that support the digitalization steps. To use the potential of CC those technologies must be combined with data generated by connected devices, creating "cognitive IoT" capabilities [Ma16]. The *Tag, Sense & Connect* domain covers the interfaces with IoT devices. The *Ingest* domain covers organizing unstructured data from natural language (written text or speech) input, audio signals, visual input (gestures, facial expressions, etc.) and haptic (touch-based) inputs. Within the domains of *Analyse & Prepare* and *Utilize* all this input is being processed using machine learning tools. The necessary technology architecture building blocks include signal, image, speech and natural language processors along with components for object and pattern recognition, anomaly detection and motion analysis.

The **Application Architecture** describes the process of application deployment and specific healthcare CC platforms and applications. Those applications use machine learning algorithms to process the ingested data and generate helpful outputs. According to Chappell there is a main process model describing the phases of developing CC applications. Such an application's functions are based on data – unstructured data - delivering raw input processed by the algorithm. Within the *Ingest* and *Analyse & Prepare* domains, a preprocessing analyzer structures and prepares that data so that the machine learning algorithm can be applied over the prepared data (algorithm applier) and used for deploying the application [Ch15]. One of the best known CC platforms is IBM Watson,

which has "capabilities to interact in natural language, process vast amounts of Big Data for understanding patterns and insights, and learning from each interaction" [Ar15]. Similar platforms include Google's DeepMind Health and Apixio's Iris. An extension of the Watson platform is the Watson Health Cloud, which provides data sharing and combining for "a dynamic, aggregated view of clinical, research, and social health data that clients choose to share" [Ar15]. Watson's algorithms can analyze any type of data – such as scientific papers, tweets or industry studies. Thus, within the *Utilize* domain, CC platforms offer solutions for different health challenges like drug discovery (i.e. discovering both new drugs and new uses for existing drugs) and precise, evidence-based treatments that can be targeted to specific patient characteristics (such as disease type, individual health record, genetic data, etc.) [La16]. Some of the most publicized applications have occurred in cancer care, where IBM has made inroads with several applications that provide expert advice to oncologists.

The input for all applications mentioned above is data. CC systems mimic the human brain which is able to process unstructured data from different sources and structure it to usable content. The **Data Architecture** comprises different data sources and types used for CC systems. In the pharmaceutical context, this may involve personal data from electronic medical records created by individual healthcare providers or from comprehensive electronic health records aggregating data from multiple providers (HealthIT, 2017). This could potentially be combined with data from genetic tests and data from other sources, including data aggregators (who collect data on employment status, social security accounts, etc.), home monitoring systems, wearables and other personal IoT devices [Rh15]. The data architecture also involves external data published or openly shared (with appropriate human subjects protection and privacy safeguards) for medical research purposes, such as lab results, medical images, tissue samples, transcripts, clinical research, and others. An example is The Cancer GenomeAtlas project to collect, analyze and provide access to data from human tissue specimens for a variety of cancers. Companies such as Amazon now provide solutions for easy sharing of such data – as with the AWS OpenData toolkit.

The **Business Architecture** encompasses various business cases describing some very beneficial outcomes of CC systems. In health care industries there is a huge potential for those systems changing treatment methods, providing diagnosis, facilitating research and automating processes. For *Medical Treatment Assistance,* self-learning CC systems like IBM Watson can be taught about cancer symptoms and treatment methods. By reading and understanding the patient's clinical history, the system can analyze the optimal cancer treatment options and help doctors make a better informed and faster decision [Sa13; La16]. Ultimately, CC could potentially support all medical decisions with additional insights derived through self-learning.

CC can also provide *Research Improvement & Acceleration* capabilities by finding more effective new drugs faster. For example, IBM Watson can help identify DNA mutations that contribute to cancer [Ar15] and then search the medical literature to identify the drug compounds that can be useful in each situation. Scientists have uncovered 28 proteins in

the last 30 years. Watson was able to identify six in one month [Sa14]. Speeding up drug discovery and better detecting toxic side effects before clinical trial stage could not just make drugs cheaper but also help find future solutions for diseases that are still incurable at the moment. To this end, IBM is collaborating with medical schools and hospitals to analyze data from various sources and accelerate the research process for drug discovery.

To help researchers and doctors doing their jobs is already a revolutionary step into a better world with less diseases and easier ways to treat them. The National Healthcare System in the UK and Google's CC DeepMind system started a project to build a smart machine which "will be able to recognize eye diseases from just digital scan" [Ta16]. Using millions of eye scans the machine can be trained to quickly detect problems to prevent any kind of eye diseases. Such *Automatic Disease Detection* could also be applied for skin scanning, x-ray analyzes and all other health relevant diagnoses. From a public health perspective, this can also help with *Health Trend Prediction* and *Illness Prevention*.

4.3 AR Architectural Implications for the Pharma Industry

AR is an important driver of innovation in the healthcare industry. There are already several healthcare areas where this technology is already being used successfully, such as enhanced patient care and better knowledge transfer during training of healthcare providers. While the use of AR in the pharmaceutical industry is not yet widespread, we believe pharma can learn from the current AR applications in order to identify future opportunities for this technology.

The **Technology Architecture** encompasses technologies and devices which describe how AR is used and how it works in technical manner. Specific hardware includes AR glasses such as Sony's SmartEyeglass, Google Glass and Microsoft Hololens, which can access data from their own sensors, camera, microphone, accelerometer and GPS (measuring movement, position, light and sound, etc.) and external sources (such as connected devices) and superimpose it on the wearer's natural field of view. It also includes gesture interaction devices such as FingerIO and Google's Soli which use miniaturized sensors and sonar or radar technology to track motions. And the next generation of AR Devices, such as Google's patented digital contact lenses, attempt to combine AR features with sensors embedded in the lenses to provide fast, secure and unobtrusive testing for diseases such as diabetes. The technology architecture also includes object recognition technologies such as object detection, 3D scanning, and optical character recognition (OCR). Last, but not least, the technology architecture includes both marker-based and marker-less AR. The former involves special cameras and visual markers applied to objects beforehand. The latter involves recognizing a variety of objects without the use of any special markers.

The **Application Architecture** encompasses AR Software Development Kits (SDKs) such as Vuforia (recently acquired by PTC) or Metaio (which is now part of Apple). Several apps for better diagnostics and treatments for patients already exist. These applications can support surgeons through the whole surgery process with pre-operative

imaging analyses, real-time examinations of patients and their internal anatomy using holograms, and real-time detection of critical conditions using haptic devices [Sa08]. Applications and platforms include SurgicalTheatre's Surgical Navigation Advanced Platform, which provides multiple AR views during real surgeries and enables simulated surgeries for training, or more simple ones like AccuVein, which displays a digital map of the veins on a patient's skin in real time. For educational purposes, apps like Anatomy 4D can be used to virtualize textbooks with AR illustrations and helps students get a better understanding of organs and the human body. And for emergency situations, apps like AED4EU developed at Radbound University in the Netherlands can help save lives by navigating the user to the nearest external defibrillators.

The **Data Architecture** comprises models of virtual and real items (such as holograms), including their relationships. Holograms are not only confined to the 3D models but also comprise meta-information and links to other virtual or real items. For example, advanced CT scan images can be superimposed over the corresponding areas of a patient's body and be manipulated using AR devices, or individual CT images can be used to build 3D models. In addition, temporal data describing disease progression or effect of medication over time can also be captured.

The **Business Architecture** encompasses capabilities of *Virtual Visualization* including *Remote Disease Diagnostics/Treatments*, *Medical Treatment Assistance, Virtual Simulation,* and *Geolocation-based AR. Remote Disease Diagnostics & Treatments* allow doctors to help patients remotely. AR glasses can help instruct patients how to behave or where to look to make a remote diagnostic possible. For example, an earlier Google Glass project in Australia provided expert advice to mothers struggling with breastfeeding. The *Medical Treatment Assistance* building block describes the use of AR in its most intensive and effective way for patients' treatment – by enhancing a doctor's expertise with additional AR capabilities. Software which creates 3D models of tumors in real-time that can be displayed and manipulated using AR glasses can empower surgeons enormously and help them make better decisions before and during surgery. Surgeons can also receive advice during surgery through the AR devices. Another use case for AR is *Virtual Education* – for both patients and health care professionals in training. AR improves trainees' understanding of human anatomy and provides a realistic but cheaper and safer alternative for active learning and practice. For example, an AR system developed by ProMis enables medical students to practice laparoscopic surgery on medical manikins projected with virtual overlays of anatomical information. Finally, a very interesting and important business case is *Geolocation-based AR.* For example, detecting the nearest external defibrillator and helping a user navigate to it by using the user's smartphone may help save lives in emergency situations when someone gets a heart attack. This use case can also be extended by showing the user through the smartphone where to put the defibrillator on the body and how to use it properly.

These more general healthcare business capabilities can inform the development of more specific pharmaceutical industry business architecture capabilities. For example, AR can be used to educate both patients and healthcare providers on disease progression and

effectiveness of treatments, digitalize the sales and marketing functions by creating virtual models of drugs and devices, simulate the use of medical devices in order to better prepare doctors and obtain suggestions for product improvement, test new medical products, or visualize complex drugs and devices during new product development. Thus, virtual visualization capabilities can help pharma companies design new drugs, medical devices or implants.

4.4 Bringing All Building Blocks Together

Each one of the emerging digitalization technologies we studied in this paper provides distinct but inter-connected architectural viewpoints for organizations. The complexity inherent in each technology suggests building separate RAs for each technology, to allow for updates and changes as each technology evolves. However, synergies among these technologies should also be documented by constructing an integrated reference architecture. Fig. 2 depicts such a possible integrated view for IoT of our digitalization RA for the pharmaceutical industry. It shows the horizontal slice spanning the pharma industry, as well as the adjoining industries - logistics & transportation and public healthcare – and identifies select business architecture capabilities.

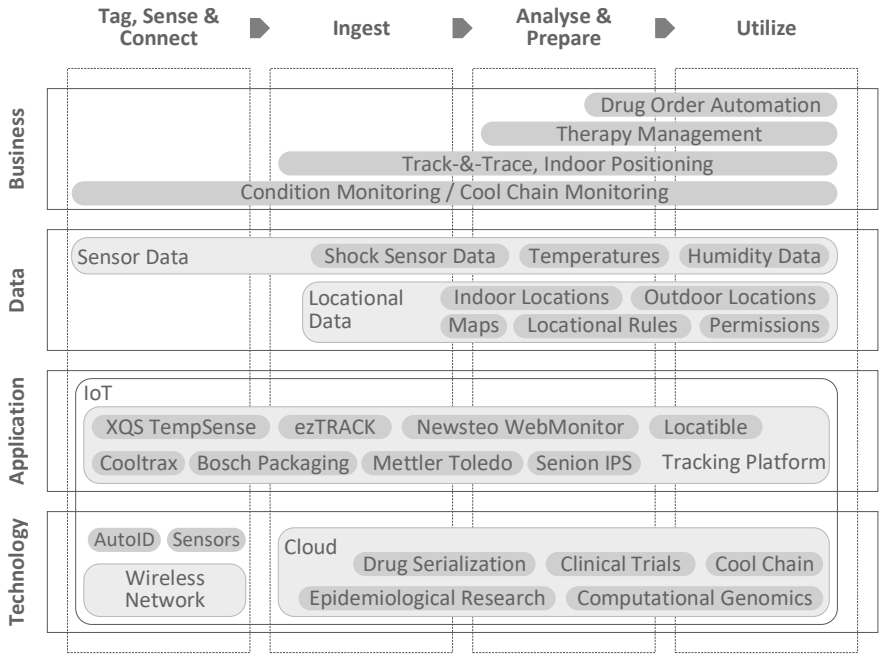


Fig. 2: IoT layer of the digitalization RA for pharma (vertical TOGAF domains slice)

5 Conclusion and Outlook

The RA presented in this paper can help pharmaceutical companies engage in digital transformation using several emerging digitalization technologies: the Internet of Things, cognitive computing, and augmented reality. Our analysis presents the architectural implications of each of these technologies for the pharma industry from the perspectives of four standard TOGAF domains (covering the technology, application, data and business architecture) and of four digitalization steps (*Sense, Tag and Connect*, *Ingest*, *Analyze and Prepare*, and *Utilize*). We also present an integrated view of the business capabilities all three technologies offer to organizations.

This paper reports on ongoing research efforts on establishing a pharma industry RA. Due to the stage of the research, the work has several limitations. Evaluation of the RA is still under way. Elements of the RA have been presented in several industry forums [BCS16; SB17] and have received very positive feedback from industry participants. We plan to further refine the RA based on this feedback and test it with more industry experts in the future. In addition, the operationalization of the digitalization steps represents the paper authors' point of view. Although this operationalization is based on the authors' extensive experience in this area, further research can explore alternative process steps. Last, but not least, the model we present in this paper could be informed by related work on RAs developed specifically for digitalization. While our literature review did not reveal any relevant high-level digitalization frameworks, we identified a few technology-specific RAs (for IoT, cloud computing, and other technologies). In future research, we plan to examine these emerging models and their implications for our generic digitalization RA. In addition, future work could continue to refine the RA model by exploring more synergies among digitalization technologies, and could show how it can be used to derive EAs for specific pharmaceutical companies.

References

[Ag14] Aguzzi, S.; Bradshaw, D.; Canning, M.; Cansfield, M.; Carter, P.; Cattaneo, G.; Gusmeroli, S.; Micheletti, G.; Rotondi, D.; Stevens, R.: Definition of a Research and Innovation Policy Leveraging Cloud Computing and IoT Combination, 2014, http://ec.europa.eu/newsroom/dae/document.cfm?doc_id=9472, accessed 01/04/2017.

[ALS12] Ahlemann, F.; Legner, C.; Schafczuk, D.: Introduction. In (Ahlemann, F., Stettiner, E., Messerschmidt, M., Legner, C., eds.): Strategic Enterprise Architecture Management. Challenges, Best Practices, and Future Developments. Springer-Verlag, Heidelberg, pp. 1-33, 2012.

[An15] Anscombe, J.; Paddison, C.; Plimley, J.; Thomas, M.; Lostaglio, K.: Time for Pharma to Dive into Digital. AT Kearney, 2015.

[Ar15] van Arnum, P.: IBM Watson, Google Forge New Models for Pharma Development, 2015, https://connect.dcat.org/blogs/patricia-van-arnum/2015/09/15/ibm-watson-google-forge-new-models-for-pharma-development#.WMKdLn--XNI, accessed

01/04/2017.

[Az01] Azuma, R.; Baillot, Y.; Behringer, R.; Feiner, S.; Julier, S.; MacIntyre, B.: Recent Advances in Augmented Reality. IEEE Computer Graphics and Applications, 21/6, pp. 34-47, 2001.

[BB12] Basten, D.; Brons, D.: EA Frameworks, Modelling and Tools. In (Ahlemann, F., Stettiner, E., Messerschmidt, M., Legner, C., eds.): Strategic Enterprise Architecture Management. Challenges, Best Practices, and Future Developments. Springer-Verlag, Heidelberg, pp. 201-227, 2012.

[BCS16] Brockmann, C.; Chircu, A. M.; Sultanow, E.: Oncological Drug Track-and-Trace Systems: Implementation and Big Data Analytics. Bitkom Big Data Summit, Hanau, Germany, February 25, 2016.

[Br14] Brockmann, C.: An Approach to Design the Business Model of an ERP Vendor. Gito, Berlin, 2014.

[BLM17] Bughin, J.; LaBerge, L.; Mellbye, A.: The Case for Digital Reinvention. McKinsey Quarterly, February, 2017.

[Ch15] Chappell, D.: Introducing Azure Machine Learning, 2015, http://www.davidchappell.com/writing/white_papers/Introducing-Azure-ML-v1.0--Chappell.pdf, accessed 01/04/2017.

[CHL15] Champagne, D.; Hung, A.; Leclerc, O.: The Road to Digital Success in Pharma. McKinsey Insight, 2015, http://www.mckinsey.com/industries/pharmaceuticals-and-medical-products/our-insights/the-road-to-digital-success-in-pharma, accessed 01/04/2017.

[Co16] CORDIS PROJECTED MEMRISTOR: A nanoscale device for cognitive computing. European Commission, 2016, http://cordis.europa.eu/project/rcn/200793_en.html, accessed 01/04/2017.

[CD17] Czarnecki, C.; Dietze, C.: Reference Architecture for the Telecommunications Industry: Transformation of Strategy, Organization, Processes, Data, and Applications. Springer, Heidelberg, 2017.

[EB16] Ehrhardt, M.; Behner, P.: Digitization in Pharma: Gaining an Edge in Operations. Strategy&. PwC, 2016, www.strategyand.pwc.com/reports/digitization-in-pharma, accessed 01/04/2017.

[Fi13] Fitzgerald, M.; Kruschwitz, N.; Bonnet, D.; Welch, M.: Embracing Digital Technology: A New Strategic Imperative. MIT Sloan Management Review Research Report, 2013.

[HKB15] Hurwitz, J.; Kaufman, M.; Bowles, A.: Cognitive Computing and Big Data Analytics. Wiley, Hoboken, NJ, 2015.

[IL14] Iansiti, M.; Lakhani, K. R.: Digital Ubiquity: How Connections, Sensors, and Data are Revolutionizing Business. Harvard Business Review, 92/11, pp. 91-99, 2014.

[Ka16] Kane, G. C.; Palmer, D.; Phillips, A. N.; Kiron, D; Buckley, N.: Aligning the Organization for Its Digital Future. MIT Sloan Management Review and Deloitte University Press, 2016, http://sloanreview.mit.edu/projects/aligning-for-digital-future/, accessed 01/04/2017.

[Ke16] Kemppainen, P.: Pharma Industrial Internet: A Reference Model Based on 5G Public Private Partnership Infrastructure, Industrial Internet Consortium Reference Architecture and Pharma Industry Standards. Journal of NBICT, 1/1, pp. 141–162, 2016.

[KL16] Kemppainen, P.; Liikkanen, S.: The Pharma Digitalization: the New Pharma Reality, Beyond the Pill, 2016, https://www.makehelsinki.com/blog/2016/04/26/the-pharma-digitalization, accessed 01/04/2017.

[Kn17] Knight, W.: The Dark Secret at the Heart of AI. MIT Technology Review, 2017.

[La16] Lau, V.: How Watson for Oncology is Advancing Cancer Care. Medical Marketing & Media, 2016, http://www.mmm-online.com/technology/how-watson-for-oncology-is-advancing-cancer-care/article/490336/, accessed 01/04/2017.

[LL15] Lee, I.; Lee, K.: The Internet of Things (IoT): Applications, Investments, and Challenges for Enterprises. Business Horizons, 58/4, pp. 431-440, 2015.

[Ma16] Matthews, S.: What is Cognitive IoT?. IBM Big Data and Analytics Hub, 2016, http://www.ibmbigdatahub.com/blog/what-cognitive-iot, accessed 01/04/2017.

[Rh15] Rhinehart, C.: The Impact of Cognitive Computing on Healthcare. Michigan Health Information Network Shared Services, 2015, https://mihin.org/wp-content/uploads/2015/06/The-Impact-of-Cognitive-Computing-on-Healthcare-Final-Version-for-Handout.pdf, accessed 01/04/2017.

[Ri16] Riemensperger, F.; Hagemeier, W.; Pfannes, P.; Wahrendorff, M.; Feldmann, M.: Demystifying Digitization: How Germany's Top500 Overcome Digital Hurdles. Accenture, 2016. https://www.accenture.com/t00010101T000000__w__/de-de/_acnmedia/PDF-5/Accenture-Top500-English-Executive-Summary.pdf, accessed 01/04/2017.

[Sa08] Samset, E.: Schmalstieg, D.; Vander Sloten, J.; Freudenthal, A.; Declerck, J.; Casciaro, S.; Rideng, Ø.; Gersak, B.: Augmented Reality in Surgical Procedures. Electronic Imaging, 2008, https://www.researchgate.net/publication/44179341_Augmented_reality_in_surgical_procedures, accessed 01/04/2017.

[Sa13] Savage, S. S.: How Watson and Cognitive Computing are Changing Healthcare and Customer Service. IBM Systems Magazine, 2013, http://www.ibmsystemsmag.com/linuxonpower/Watson/cognitive_computing/?page=2, accessed 01/04/2017.

[Sa14] Saporito, B.: IBM Watson's Startling Cancer Coup. Time Health, 2014, http://time.com/3208716/ibm-watson-cancer/, accessed 01/04/2017.

[SF12] Stettiner, E.; Fienhold, M.: EAM 2020 – the Future of the Discipline. In (Ahlemann, F., Stettiner, E., Messerschmidt, M., Legner, C., eds.): Strategic Enterprise Architecture Management. Challenges, Best Practices, and Future Developments. Springer-Verlag, Heidelberg, pp. 265-286, 2012.

[SB17] Sultanow, E.; Brockmann, C.: Defining a Digitalization Reference Architecture for the Pharma Industry. In Proc. The Open Group, Berlin, Germany, April 24-27, 2017.

[Su16] Sultanow, E.; Brockmann, C.; Schroeder, K; Breithaupt, C.: Lufthansa Aviation Standard: Developing an Open Group Reference Architecture for the Aviation Industry.

In (Mayr, H. C., and Pinzger, M., eds.): INFORMATIK 2016, LNI P-259, Gesellschaft für Informatik, Bonn, pp. 825-836, 2016.

[SC15] Sultanow, E.; Chircu, A. M.: Improving Healthcare with Data-driven Track-and-trace Systems. In (Girard, J. P.; Klein, D; Berg, K., eds.): Strategic Data-Based Wisdom in the Big Data Era, IGI Global, Hershey, PA, pp. 65-82, 2015.

[Ta16] Taft, D. K.: 5 Ways Cognitive Computing Is Advancing Health Care. eWeek, 2015, http://www.eweek.com/database/slideshows/5-ways-cognitive-computing-is-advancing-health-care.html, accessed 01/04/2017.

[Ti16] The Internet of Things. European Commission, 2016, https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/internet-things, accessed 01/04/2017.

[WAX15] Whitmore, A.; Agarwal, A.; Xu, L. D.: The Internet of Things—A Survey of Topics and Trends. Information Systems Frontiers, 17/2, pp. 261-274, 2015.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 2059

On-The-Fly Computing: Ein Referenzmodell für individualisierte IT-Dienstleistungen in dynamischen Märkten

Daniel Szopinski[1], Bahar Jazayeri[2], Gregor Engels[2] und Dennis Kundisch[1]

Abstract: Das Enterprise Architecture Management stellt umfangreiche Methoden, Modelle und Frameworks für die Modellierung von Unternehmensarchitekturen zur Verfügung. Die Entwicklung von Software und deren Integration in IT-Landschaften ist heutzutage zunehmend von Komplexität und Unsicherheit geprägt. Dieser Beitrag (Research-in-progress) möchte ein neues Paradigma – das *On-The-Fly Computing* – vorschlagen, um diesen Herausforderungen zu begegnen, mögliche Lösungsansätze zu diskutieren sowie erste Ergebnisse eines Referenzmodells für individualisierte IT-Dienstleistungen in dynamischen Software-Märkten dokumentieren.

Keywords: On-The-Fly Computing, Referenzmodellierung, Enterprise Architecture Management.

1 Einleitung

Das Enterprise Architecture Management (EAM) hat seit der Veröffentlichung von Zachman [Za87] in Praxis und Forschung zahlreiche umfangreiche Methoden, Modelle und Frameworks hervorgebracht. EAM gilt heute als etablierter und wichtiger Teil des Geschäfts- und IT-Managements [SFS13] und unterstützt dabei, Unternehmensarchitekturen mit ihren unterschiedlichen Ebenen (z. B. Business Architecture, Information Systems Architecture, Technology Architecture) zu erfassen und aufeinander abzustimmen [WF06].

Die Entwicklung von Software und deren ganzheitliche Betrachtung durch das EAM ist zunehmend von Komplexität und Unsicherheit geprägt [La16]. So stellt sich bspw. die aktuelle Capgemini-Studie „IT-Trends 2017“ der Frage, ob die Digitalisierung etablierte Unternehmensstrukturen überfordert und kommt zu dem Ergebnis, dass die heute erforderliche Agilität bei der Entwicklung und dem Betrieb von Software eine Herausforderung ist. Gleichzeitig gewinnt Agilität an Relevanz. So würden Entscheidungsträger in der IT Individualanwendungen gerne wesentlich häufiger (als ein- bis dreimal pro Jahr) aktualisieren. Auch fällt es ihnen zunehmend schwerer von der Fachseite geforderte IT-Funktionalitäten in ihre IT-Landschaften einzubinden [Ca17].

[1] Universität Paderborn, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften, Lehrstuhl für Wirtschaftsinformatik insb. Digitale Märkte, Warburger Straße 100, 33098 Paderborn, {vorname.nachname}@wiwi.uni-paderborn.de

[2] Universität Paderborn, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik, Lehrstuhl für Datenbank- und Informationssysteme, Warburger Straße 100, 33098 Paderborn, {vorname.nachname}@uni-paderborn.de

doi:10.18420/in2017_206

Folgen der beschriebenen Entwicklungen sind immer stärker modularisierte und verteile Software sowie heterogene IT-Landschaften.

Dieser Beitrag möchte ein neues Paradigma – das *On-The-Fly Computing* – vorschlagen, um die zuvor beschriebenen Herausforderungen und mögliche Lösungsansätze zu diskutieren sowie erste Ergebnisse eines Referenzmodells für individualisierte IT-Dienstleistungen in dynamischen Software-Märkten dokumentieren.

2 On-The-Fly Computing

> *„Unsere Vision des On-The-Fly Computing ist die von individuell und automatisch konfigurierten und zur Ausführung gebrachten IT-Dienstleistungen aus auf Märkten frei gehandelten, flexibel kombinierbaren Services. Gleichzeitig zielen wir auf die Organisation von Märkten ab, deren Teilnehmer durch geeignetes unternehmerisches Handeln einen lebendigen Markt der Services aufrechterhalten."* [Un15]

Der DFG-Sonderforschungsbereich *On-The-Fly Computing* (kurz: OTF Computing) an der Universität Paderborn hat sich dieser Vision verschrieben und erforscht disziplinübergreifend die Grundlagen (insbesondere Fragestellungen aus der Informatik, Wirtschaftsinformatik und den Wirtschaftswissenschaften) für die Realisierung dieser Vision. Mit dem OTF Computing schlagen wir ein Paradigma vor, das sich dem Spannungsfeld der in der Einleitung skizzierten Anforderungen annimmt und weltweit verfügbare und verteilte Märkte für individualisierte IT-Dienstleistungen ermöglicht. Diese Märkte nennen wir OTF-Märkte. Im Folgenden beschreiben wir kurz unser Verständnis von OTF-Märkten sowie die Rollen die Marktteilnehmer auf solchen OTF-Märkten einnehmen können.

2.1 OTF-Märkte

Märkte stellen die sozio-ökonomische, technische und rechtliche Infrastruktur für die Zusammenführung und Abwicklung von Transaktionen zur Verfügung [WHN03]. Das gilt auch für OTF-Märkte. Es sind im Speziellen die folgenden drei Charakteristika, die OTF-Märkte ausmachen.

Die IT-Dienstleistungen werden elektronisch gehandelt. Waren es früher insbesondere Finanz-, Güter-, und Dienstleistungsströme die zunehmend auf elektronischen Märkten gehandelt wurden [WHN03], zielen OTF-Märkte darauf ab, zukünftig auch IT-Dienstleistungen elektronisch zu handeln. Herausfordernd ist dabei sowohl die erwartete Heterogenität der Services (in fachlicher wie auch softwaretechnischer Hinsicht), als auch die Identifizierung geeigneter Preisfindungsmechanismen für solche Services (z.B. Listenpreise, Auktionen, Preise die von Merkmalen der IT-Dienstleistung oder der Kunden abhängen, Pay-per-use oder

kostenlose durch Werbung finanzierte Services).

Die IT-Dienstleistungen werden aus mehreren einzelnen Services komponiert. Komponierte Services ermöglichen die Wiederverwendung von häufig nachgefragten und/oder standardisierten Komponenten einer IT-Dienstleistung und ermöglichen gleichzeitig auch die Ergänzung durch neue, individuelle Services. Die hierfür notwendigen zentralen Funktionen eines OTF-Marktes bilden Suche, Matching, Komposition, Verifikation, Ausführung und Monitoring von Services. Sowohl bei der Komposition von existierenden Services, als auch der Entwicklung neuer Services sind verschiedene Marktteilnehmer beteiligt (die wir im folgenden Abschnitt beschreiben).

Die IT-Dienstleistungen sind Erfahrungsgüter. Erfahrungsgüter zeichnen sich dadurch aus, dass der Kunde bzw. End User die Qualität erst nach vollzogenem Konsum bzw. der Nutzung feststellen kann [SV98]. Diese Eigenschaft haben auch IT-Dienstleistungen auf OTF-Märkten, da sie für den End User individuell zusammengestellt und konfiguriert werden. Da IT-Dienstleistungen auf einem OTF-Markt aus mehreren einzelnen Services bestehen können, kann die Qualität solcher komponierter Services im Vorhinein nur schwer festgestellt werden. Durch Bewertungssysteme können End User auf Erfahrungen zurückgreifen, die in der Vergangenheit mit anderen Marktteilnehmern oder den von ihnen bereitgestellten IT-Dienstleistungen gemacht wurden. Es entstehen Lerneffekte, die auch Auswirkungen auf das Nachfrageverhalten der Marktteilnehmer haben.

2.2 Rollen

Wir unterscheiden sechs Rollen, die Marktteilnehmer auf OTF-Märkten annehmen können. Diese lassen sich in Requester (End User, Service Requester) und Provider (OTF Provider, Service Provider, Compute Center, Market Provider) aufteilen. Marktteilnehmer können mehrere Rollen auf einem OTF-Markt haben.

End User fragen IT-Dienstleistungen auf einem OTF-Markt nach. Falls der OTF-Markt diese bereits zur Verfügung stellt, können End User solche Services umgehend nutzen. Andernfalls wird die gewünschte IT-Dienstleistung auf Basis der Anforderungsspezifikationen der End User neu entwickelt bzw. aus mehreren schon existierenden Services komponiert. End User eines OTF-Marktes unterscheiden sich bezüglich des domänenspezifischen Wissens (z.B. Experte oder Laie), des technischem Wissens (z.B. Anwender oder Softwareentwickler), den nötigen Sicherheitsanforderungen (z.B. Individuum, kleine, mittlere oder große Organisation), und den technischen Voraussetzungen des End Users (z.B. Computer, Notebook, Tablet Smartphone, oder Server).

Service Requester nehmen Anforderungen die von End Usern definiert werden (z.B. natürlichsprachlich, modellbasiert, szenariobasiert, oder formal) entgegen und verarbeitet diese so, dass daraus Anfragen für komponierte und/oder einzelne Services erstellt werden können.

OTF Provider bündeln domänenspezifisches Wissen und Erfahrung in der Komposition von Services. OTF Provider können aus den Anforderungen von Service Requestern erforderliche Software- und Hardwarespezifikationen identifizieren. OTF Provider leiten diese Spezifikationen in Form von Anfragen an passende Service Provider und Compute Center weiter. Der OTF Provider stimmt einzelne Services und Ressourcen aufeinander ab und stellt sie für den End User zusammen.

Service Provider stellen Software zur Verfügung, die Bestandteil von komponierten Services werden kann (z.B. funktionsübergreifende Software für die Text- und Grafikverarbeitung oder funktionsbezogene Software für die Buchhaltung oder Produktionsplanung und -steuerung).

Compute Center stellen Ressourcen (z.B. Rechenleistung oder Speicherkapazität) für die Ausführung von Services zur Verfügung (z.B. im Hinblick auf Verfügbarkeit, Geschwindigkeit, und/oder Volumen).

Market Provider sind Marktbetreiber und haben maßgeblichen Einfluss auf die Gestaltung von OTF-Märkten indem sie Regeln definieren, nach denen die Marktteilnehmer sich auf solchen OTF-Märkten bewegen dürfen. Market Provider stellen auch die hierfür notwendige Transaktionsdienstleistungen zur Verfügung (z.B. Anfrage erstellen, Angebot erstellen, Vertrag annehmen/ablehnen). Typischer Weise unterscheiden sich OTF-Märkte hinsichtlich (in Anlehnung an [WHN03]) des Zugangs zum Markt (z.B. öffentlich oder privat), dem Zeitpunkt an dem Informationen über andere Marktteilnehmer veröffentlicht werden (z.B. sofort, zeitverzögert oder nur für ausgewählte Markteilnehmer in unterschiedlichen Detaillierungsgraden), den Preisfindungsmechanismen (z.B. fixe bzw. dynamische Preise), und dem Gebührenmodell des Market Providers (z.B. einheitliche Gebühren für alle Marktteilnehmer, Preisdifferenzierung zwischen verschiedenen Marktteilnehmern oder keine Gebühren bzw. werbefinanzierte OTF-Märkte ohne Gebühren).

3 Gestaltung eines Referenzmodells für OTF-Märkte

Wir strukturieren unser Vorgehen zur Entwicklung eines Referenzmodells (als spezielle Klasse eines Informationsmodells) für OTF-Märkte anhand der Methode zur Entwicklung von Referenzarchitekturen von Timm et al. [TSF17], die die Arbeiten zur konfigurativen Referenzmodellierung von Becker et al. [Be12] erweitern. Die Methode umfasst insgesamt fünf Phasen: Projektziel, Modellierungsansatz, Referenz-modellierung, Modellevaluation und Modell Release. Wir betrachten das zu entwickelnde Referenzmodell als ersten Schritt hin zu einem umfassenden Architekturframework für das OTF Computing [Ja16a]. Daher adressieren wir im Rahmen dieses Beitrags zunächst die ersten drei Phasen, die auch die Grundlage für die spätere Abstraktion und Evaluierung des Referenzmodells bilden.

(1) Projektziel: Das Ziel ist die Entwicklung eines Referenzmodells als Bestandteil

eines Architekturframeworks [AGG12] für OTF-Märkte. Das Architekturframework soll dabei – je nach Bedarf – zahlreiche unterschiedliche Möglichkeiten zur Instanziierung von OTF-Märkten bereithalten.

(2) Modellierungsansatz: Die Basis für die Modellierung des Referenzmodells bildet unser Meta-Modell, dass die grundlegenden Diagramm- und Modellarten aufführt (siehe Abbildung 1). Das Referenzmodell soll Struktur (Klassen- und Komponenten-diagramme), Verhalten (Use-Case-, Zustands-, Aktivitäts- und Sequenzdiagramme) sowie Variabilitäten (Feature-Modell) von OTF-Märkten abbilden.



Abb. 1: Meta-Modell für die Referenzmodellierung eines On-The-Fly Computing-Marktes.

(3) Referenzmodellierung: Für die Entwicklung eines ersten Referenzmodells verbinden wir deduktives und induktives Vorgehen. In einem ersten deduktiven Schritt haben wir 10 semi-strukturierte Interviews mit 20 WissenschaftlerInnen (Informatiker, Wirtschaftsinformatiker, und Wirtschaftswissenschaftler) aus allen Teilprojekten des Forschungsprojektes geführt. Die Interviews dienten insbesondere dazu herauszufinden, welche strukturgebenden Klassen und Komponenten für die Forschungsfragen an denen die WissenschaftlerInnen arbeiten, relevant sind. Zusätzlich ermöglichten die Interviews, Zusammenhänge zwischen den Teilprojekten des Forschungsprojektes zu identifizieren und so das Verhalten in Form von Use-Cases, Zuständen, Aktivitäten und Sequenzen zu erfassen. Neben der Struktur und des Verhaltens von OTF-Märkten haben wir im Rahmen eines systematischen Literatur-Reviews Features von IT-Dienstleistungen als Ausgangspunkt für Variabilitäten des Architekturframeworks zukünftiger OTF-Märkte identifiziert [Ja16b]. In einem zweiten induktiven Schritt haben wir dann die Erkenntnisse aus dem deduktiven Schritt im Rahmen eines Workshops (in Anlehnung an [Fe14]) strukturiert und konsolidiert.

Aus den diskutierten Anforderungen für OTF-Märkte sowie dem beschriebenen Vorgehen zur Entwicklung von Referenzarchitekturen haben wir den in Abbildung 2 beschriebenen typischen Verlauf einer Anfrage in einem OTF-Markt identifiziert, die aus insgesamt vier Schritten besteht:

(1) Der End User fragt einen Service indem der End User eine Anforderungsdefinition für den Service erstellt und an den Service Requester richtet.

(2) Der Service Requester nimmt die Anforderungsdefinition entgegen und verarbeitet diese zu mehreren für den OTF-Markt handhabbaren technischen Spezifikationen.

(3) Der vom Service Requester ausgewählte OTF Provider sucht nun geeignete Service Provider, die Services in Form von Software bereitstellen sowie Compute Center, die die notwendigen Hardware-Ressourcen für die Ausführungsumgebung anbieten.

(4) Der OTF Provider stellt dem End User den komponierten Service zur Verfügung.

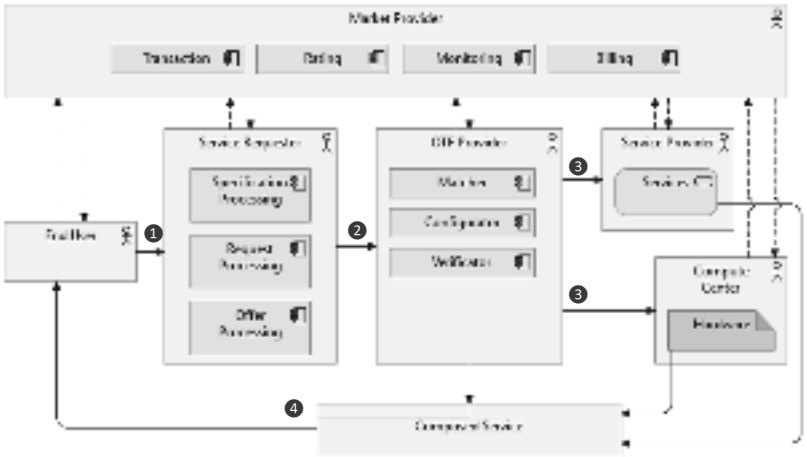


Abb. 2: Schematische Darstellung eines On-The-Fly Computing-Marktes (gestrichelte Linien zeigen die Relationen zur Abwicklung von Transaktionen mit dem Market Provider).

Erweiterungen der beschriebenen Funktionsweise von OTF-Märkten werden bereits in zahlreiche Richtungen diskutiert (z.B. öffentliche oder unternehmensinterne OTF-Märkte). Das Architekturframework soll es ermöglichen konkrete OTF-Märkte in verschiedenen Domänen instanziieren können (z.B. OTF-Märkte für Mobile Apps oder Cloud Services). Nächste Schritte auf dem Weg zu einem Architekturframework für OTF-Märkte umfassen daher die umfassende Evaluierung des Referenzmodells (u.a. Modellevaluation [TSF17]) sowie die Entwicklung von Methoden zur Instanziierung von konkreten OTF-Märkten [En15].

4 Zusammenfassung und Ausblick

Das EAM hat seine Ursprünge in der Praxis und ergänzt um die Erfahrungen aus der Forschung (insb. der Softwareentwicklung) findet das EAM breite Anwendung und Akzeptanz. Aus der unternehmerischen Praxis heraus ergibt sich zunehmend die Anforderung eines strategisch ausgerichteten EAM [Ah12], dass es erlaubt Marktveränderungen zeitnah in Unternehmensarchitekturen abzubilden. So ändern sich bspw. durch neue Geschäftsmodelle etablierte Regeln und Strukturen ganzer Industrien (z.B. Telekommunikationsindustrie [CD16], oder Softwareindustrie [Br14]), die die Art und Weise wie Unternehmen für ihre Kunden Wert schaffen enorm verändern.

Die Vision des Paradigmas OTF Computings ermöglicht durch seine Interdisziplinarität

neben der grundlegenden theoretischen Fundierung des EAM zukünftig auch theoretische Einflüsse über die Informatik hinaus zu berücksichtigen (z.B. Soziologie, Psychologie, oder Organisationswissenschaften) [La16]. Auch wurden mittlerweile zahlreiche Methoden, IT-Artefakte und Modelle entwickelt [Sc06], die die Anwendung des EAM erleichtern sollen. Die Effektivität dieser Methoden, IT-Artefakte und Modelle ist bisher jedoch nur bedingt evaluiert und lässt Raum für zukünftige Forschung. Langfristig ist auch die Evaluierung konkreter Instanzen des OTF-Architekturframeworks anhand von messbaren Erfolgsfaktoren denkbar [LMR16], um Aussagen über dessen Nützlichkeit treffen zu können.

5 Literaturverzeichnis

[AGG12] Angelov, S.; Grefen, P.; Greefhorst, D.: A framework for analysis and design of software reference architectures. Information and Software Technology 54/5, S. 417–431, 2012.

[Ah12] Ahlemann, F.; Stettiner, E.; Messerschmidt, M.; Legner, C. (Hrsg.): Strategic Enterprise Architecture Management. Challenges, Best Practices, and Future Developments. Springer, Berlin, Heidelberg, 2012.

[Be12] Becker, J. et al.: Konfigurative Referenzmodellierung. In (Becker, J., Knackstedt, R., Hrsg.): Wissensmanagement mit Referenzmodellen. Physica-Verlag, Heidelberg, S. 25–144, 2002.

[Br14] Brockmann, C.: An approach to design the business model of an ERP vendor. Schriften der Forschungsvereinigung Software, GITO, Berlin, 2014.

[Ca17] Capgemini: Studie IT-Trends 2017. Überfordert Digitalisierung etablierte Unternehmensstrukturen?, S. 1–44, 2017.

[CD16] Czarnecki, C.; Dietze, C.: Reference Architecture for the Telecommunications Industry: Transformation of Strategy, Organization, Processes, Data, and Applications. Springer, Berlin, Heidelberg, S. 3-8, 2016.

[LMR16] Lange, M.; Mendling, J.; Recker, J.: An empirical analysis of the factors and measures of Enterprise Architecture Management success. European Journal of Information Systems 25/5, S. 411–431, 2016.

[Fe14] Fettke, P.: Eine Methode zur induktiven Entwicklung von Referenzmodellen. In (Kundisch, D.; Suhl, L.; Beckmann, L., Hrsg.) Tagungsband der Multikonferenz Wirtschaftsinformatik (MKWI 2014), Paderborn, Deutschland, S. 1034–1047, 2014.

[Ja16a] Jazayeri, B.: Architectural management of on-the-fly computing markets. In (Bahsoon, R.; Weinreich R., Hrsg.) Proceedings of the 10th European Conference on Software Architecture Workshops (ECSAW 2016), Kopenhagen, Dänemark, S. 42–43, 2016.

[Ja16b] Jazayeri, B. et al.: Features of IT Service Markets: A Systematic Literature Review. In (Sheng, Q. Z. et al., Hrsg.) Proceedings of the 14th International Conference on Service-Oriented Computing (ICSOC 2016), Banff, Kanada, S. 301–316, 2016.

[LMR16] Lange, M.; Mendling, J.; Recker, J.: An empirical analysis of the factors and measures

of Enterprise Architecture Management success. European Journal of Information Systems 25/5, S. 411–431, 2016.

[La16] Lapalme, J. et al.: Exploring the future of enterprise architecture. A Zachman perspective. Computers in Industry 79, S. 103–113, 2016.

[En15] Engels, G. et al.: Quasar Enterprise: Anwendungslandschaften serviceorientiert gestalten. dpunkt, Heidelberg, 2015.

[SV98] Shapiro, C.; Varian, H. R.: Information rules. A strategic guide to the network economy. Harvard Business School Press, Boston, USA, 1998.

[SFS13] Simon, D.; Fischbach, K.; Schoder, D.: An exploration of enterprise architecture research. Communications of the Association for Information Systems 32/1, S. 1–72, 2013.

[TSF17] Timm, F.; Sandkuhl, K.; Fellmann, M.: Towards A Method for Developing Reference Enterprise Architectures. In (Leimeister, J. M.; Brenner, W., Hrsg.) Tagungsband der 13. Internationalen Tagung Wirtschaftsinformatik (WI 2017), St. Gallen, Schweiz, S. 331–345, 2017.

[Un15] Universität Paderborn: Antrag des Sonderforschungsbereichs „On-The-Fly Computing“. Individualisierte IT-Dienstleistungen in dynamischen Märkten, 2015.

[Sc06] Schekkerman, J.: How to survive in the jungle of enterprise architecture frameworks. Creating or choosing an enterprise architecture framework. Trafford Publishing, Victoria, Kanada, 2006.

[WF06] Winter, R.; Fischer, R.: Essential Layers, Artifacts, and Dependencies of Enterprise Architecture. In (IEEE Computer Society, Hrsg.) Proceedings of the 10th IEEE International Enterprise Distributed Object Computing Conference Workshops (EDOCW 2006), Hong Kong, China, S. 30–38, 2006.

[WHN03] Weinhardt, C.; Holtmann, C.; Neumann, D.: Market-Engineering. Wirtschaftsinformatik 45/6, S. 635–640, 2003.

[Za87] Zachman, J. A.: A framework for information systems architecture. IBM Systems Journal 26/3; S. 276–292, 1987.

Danksagung: Diese Arbeit wurde von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) im Rahmen des Sonderforschungsbereichs „On-The-Fly Computing“ (SFB 901) unterstützt.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 2067

Enterprise Architecture Management in kleinen und mittleren Unternehmen

Tom Baudis[1], Janek Czapowski[1], Achim Reiz[1] und Matthias Wißotzki[1]

Abstract: Damit Enterprise Architecture Management (EAM) sein volles Potential im Unternehmen entfalten kann, müssen bei der Einführung verschiedene Ansätze oder Frameworks für das Unternehmen evaluiert und im Anschluss verglichen werden. Jedoch wird dieses Vorgehen von kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) meist als zu komplex und zu aufwendig empfunden, da die Rahmenbedingungen nicht immer eindeutig bestimmt werden können. Diese Arbeit zeigt im Rahmen einer systematischen Literaturanalyse, welche Auslöser, Anforderungen und Erfolgsfaktoren für EAM in KMUs relevant sein können. Des Weiteren wird gezeigt, in welchen Situationen und strategischen Ausrichtungen des Unternehmens sich die Einführung von EAM besonders lohnen kann. Im Abschluss werden Frameworks und Vorgehensweisen zur Umsetzung von EAM im KMU vorgestellt.

Keywords: Enterprise Architecture, Enterprise Architecture Management, Small and medium Business

1 Einleitung

Unternehmen wollen möglichst schnell und flexibel auf Marktänderungen reagieren, um Wettbewerbsvorteile zu erlangen oder zumindest konkurrenzfähig zu bleiben. Dabei spielt die Kooperation zwischen den Geschäftsstrategien, den Kunden, den IT-Systemen und der Organisationsstruktur eine wichtige Rolle [WTS15]. Die daraus entstehenden Anforderungen können mit Hilfe des Enterprise Architecture Managements (EAM) bewältigt werden, welches modellbasierte Erklärungen der Basisstruktur eines Unternehmens (z.B. Prozesse, Organisationseinheiten, IT-Systeme), deren Beziehungen sowie Methoden zu deren kurz-, mittel- und langfristige Veränderung bereit stellt [WS12].

Zwar wird zunehmend Forschung in diesem Bereich betrieben, dennoch werden kleine und mittlere Unternehmen (KMUs)[2] sehr oft vernachlässigt. Aus diesem Grund ist bisher nur wenig über die Nutzung von EA bzw. EAM im KMU Bereich bekannt [IBP13, WS12]. Es wurde erkannt, dass KMUs die Konzepte von EA bzw. EAM als zu komplex ansehen und daher als zu schwer zur Implementation im Unternehmen empfinden [WTS15]. Des Weiteren fehlt KMUs häufig das ausgebildete Fachpersonal im EAM Bereich, was dazu führt, dass die Befürchtungen zu scheitern entsprechende Unternehmen ganz davon abhält, das Thema anzugehen [BPSD16].

[1] Universität Rostock, IEF, Albert Einstein-Str. 22, 18059 Rostock, Vorname.Nachname@uni-rostock.de
[2] Definition von KMU von der Europäischen Kommission verwendet [GRO09].

doi:10.18420/in2017_207

Diese Arbeit untersucht, welche EAM-Ansätze für KMUs in der Konferenz-Literatur bereits existieren. Außerdem wird ermittelt, welche speziellen Anforderungen an das EAM in KMUs aktuell gestellt bzw. gefordert werden.

Dazu wird mit Hilfe einer systematischen Literaturanalyse (SLA) den folgenden Forschungsfragen (RQ) nachgegangen:

RQ1: Welche Aktivitäten gibt es im Feld EAM in KMUs seit 2000?

RQ2: Welche Forschungskernthemen wurden identifiziert?

RQ3: Wer ist in diesem Forschungsbereich aktiv?

RQ4: Welche Auslöser und Anforderungen sind relevant für EAM in KMU?

RQ5:Welche Art von Methoden, Frameworks, Prozesse ermöglichen EAM in KMU?

Die Arbeit gliedert sich nach der Einleitung in drei Kapitel. Nach der Einleitung in Kapitel 1 wird in Kapitel 2 die zur Datenerhebung verwendete systematischen Literaturanalyse (SLA) vorgestellt. Anschließend werden in Kapitel 3 die Ergebnisse zur Beantwortung der Forschungsfragen genutzt. Abschließend werden die Ergebnisse zusammengefasst und ein Ausblick auf weitere Forschungsaktivitäten gegeben.

2 Forschungsmethodik

Zur Beantwortung der RQs wurde die systematische Literaturanalyse nach Kitchenham et al. gewählt [KC07]. Dabei konzentrierte sich die Literatursuche auf die Springerlink-, AISeL- und Scopus-Datenbank mit Fokus auf Konferenzliteratur. Die initiale Suche, unter Berücksichtigung vordefinierter Suchstrings, ergab im ersten Schritt für die AISeL-Datenbank 169, für die Scopus-Datenbank 49, und für Springerlink 38 Ergebnisse (Tabelle 1).

Schritt	Auswertung	Anzahl
1	Artikel ohne Analyse	273
2	Artikel nach Untersuchung von Titel, Abstract und Schlagwörter	47
3	Artikel nach Entfernen von Duplikaten	43
4	Artikel nach Lesen des Inhalts	33

Tab. 1: Anzahl der Artikel

Für die Auswertung der Ergebnisse wurden Inklusions- und Exklusionskriterien bestimmt. Als Inklusionskriterien für die Auswertung der Ergebnisse wurde festgelegt, dass die Publikationen eine der folgenden Ebenen von EA mit Bezug auf KMUs

behandeln muss: *Geschäftsarchitektur, Informations- und Datenarchitektur, Anwendungsarchitektur, Technologiearchitektur* [WF06]. Da die Ergebnisse aus unterschiedlichen Literaturdatenbanken stammten und somit Duplikate nicht ausgeschlossen werden konnten, wurden diese als Exklusionskriterien definiert. Nach der Festlegung der Inklusions- und Exklusionskriterien, wurden die Ergebnisse anhand des Titels, Abstracts und der Schlagwörter analysiert, Duplikate entfernt und im Anschluss gelesen. Nach den inhaltlichen Analysen konnten 33 Publikationen als relevant eingestuft werden.

Es wurden für jede Publikation die grundlegenden Daten dokumentiert. Dazu gehören: Autoren, Titel, Erscheinungsjahr, Konferenz bzw. Journal, Datenbank, Land und Institut. Mittels dieser Daten konnten die Forschungsfragen eins und drei beantwortet werden. Für die Beantwortung der restlichen Fragen wurden zusätzlich folgende Daten festgehalten: Forschungsthemen, Forschungsmethode, Auslöser/ Erfolgsfaktoren/ Anforderungen und Methoden/ Frameworks/ Prozesse.

3 Auswertung der Ergebnisse

Im folgenden Kapitel werden die Ergebnisse aus der Datensammlung zur Beantwortung der Forschungsfragen vorgestellt und interpretiert.

3.1 RQ1: Welche Aktivitäten gibt es im Feld EAM in KMUs seit 2000?

Die Literaturanalyse beschränkt sich auf den Zeitraum 2000 an bis zum Anfang des Jahres 2017. In diesem Zeitraum konnten nach dem vorangehenden Auswahlverfahren 33 Publikationen über das Thema Unternehmensarchitektur in kleinen und mittleren Unternehmen identifiziert werden. In Abbildung 1 ist erkennbar, dass die Relevanz des Themenkomplexes in der Vergangenheit stark zugenommen hat. Die ersten Veröffentlichungen erschienen im Jahr 2004 zum Thema EA in KMUs. Anfangs lag der Fokus noch auf dem Erstellen eines Geschäftsmodells [Sho04]. 2008 mit zwei und 2009 mit fünf Publikationen stellen den Anfang der Forschung zum EAM Themenkomplex dar. Die Themenschwerpunkte bezogen sich auf die strategische Planung von Informationssystemen [Ash08, Wil08, Wil09], die Notwendigkeit von organisationsbezogenem Lernen [LM09], der Aufbau einer SOA [ARG09], die Kombination aus Enterprise Ressource Planning (ERP) und EA [SKP09], sowie den besonderen Anforderungen von KMU in Entwicklungsländern [KQ09]. Nach 2009 verringerte sich die Aktivität mit je zwei Veröffentlichungen pro Jahr bis 2012. In diesem Zeitraum erschienen Arbeiten zu EA in virtuellen KMUs [Kan10] sowie eine Abhandlung der Transition von kleinen zu mittleren Unternehmen [JK11].

Waren in den vorangegangenen Jahren vermehrt strategische Themen von Relevanz, rückten 2012/2013 nun Fragen nach der praktischen Umsetzung in den Vordergrund. So beschäftigen sich drei Publikationen der Universität Ghent mit der möglichen

Werkzeugunterstützung für EA in KMUs [DBP13, BMP13, IBP13], auch das Schaffen von virtuellen Organisationen wird mit zwei Publikationen wieder vermehrt behandelt [HAZ+13, Kan12].

2014 gab es lediglich zwei Publikationen der Universität Ghent, wovon eine Publikation in Kooperation mit der Universität Antwerpen durchgeführt wurde, beschäftigten sich explizit mit der Einführung von EAM in KMUs [BBR+14, BPSD14]. Das Jahr 2015 bildete mit sechs Publikationen den aktuellen Höhepunkt der Forschungsaktivitäten. Das strategische Management blieb weiterhin ein wichtiger Forschungsbereich. Die Angleichung von IT und Aktivitäten der Fachabteilungen[3] [WTS15], sowie die strategische Ausrichtung von Unternehmen [VCA+15] fanden auch weiterhin Beachtung. Dennoch rückten vermehrt die konkreten Anforderungen an ein EAM in den Vordergrund: Drei Publikationen beschäftigen sich vorrangig mit Referenzarchitekturen und deren besonderen Anforderungen im Kontext von KMUs. Eine davon mit Erkenntnissen aus einer Implementation des TOGAF-Frameworks [PM15].

Im Jahr 2016 wurden weitere Forschungen hinsichtlich der besonderen Anforderungen von KMUs an EAM untersucht [BPSD16] und auch die Informations-System-Integration analysiert [FGHO16]. Die Aktivitäten im Jahre 2017 sind unter Berücksichtigung des noch laufenden Jahres nicht abgeschlossen. Bis zum Verfassen dieses Beitrags konnte nur ein Artikel zum Themenkomplex EAM identifiziert werden [SS17].

Auffällig ist, dass das Thema EA und EAM erst nach 2007 eindeutig definiert und behandelt wird. Die drei Publikationen zwischen 2003 und 2005 behandeln lediglich die Teilgebiete Datenarchitektur und Technologiearchitektur in KMUs. Zusätzlich wurden in der initialen Suche vor 2008 zwar mit 23 relativ viele Artikel gefunden, welche die Ebenen von EA behandeln, aber nur drei Artikel beziehen sich dabei auch auf KMUs.

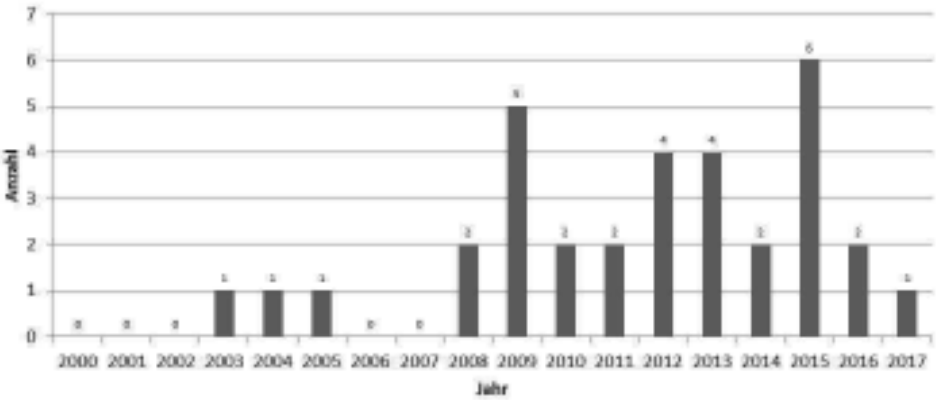


Abb. 1: Anzahl Publikationen von 2000 bis 2017 (Eigene Darstellung)

[3] Business-IT-Alignment

Mit jeweils vier Veröffentlichungen sind die Konferenzen Practice of Enterprise Modeling (PoEM) und Americas Conference on Information Systems (AMCIS) am häufigsten vertreten, gefolgt von der Australasian Conference on Information Systems (ACIS) mit drei Veröffentlichungen. Die PoEM hatte zwar erst 2012 die ersten Veröffentlichungen ist jedoch in den letzten fünf Jahren die aktivste Konferenz auf diesem Themengebiet.

3.2 RQ2: Welche Forschungskernthemen wurden identifiziert?

Am häufigsten wurden Themen hinsichtlich der *Einführung von EA bzw. EAM* in kleinen und mittleren Unternehmen untersucht (16). Fünf Publikationen stellten dabei bereits bestehende Frameworks vor oder passten diese zugunsten einer besseren Implementierbarkeit für KMUs an [Hra12, BP11, BPSD14, BBR+14, Ash08]. Ein weiteres Themengebiet ist die Entwicklung und Evaluierung der EAM Werkzeugunterstützung. Mit diesem Teilgebiet beschäftigten sich drei Publikationen [IBP13, DBP13, BMP13]. Kangilaski erforschte das Einführen von EAM in einer virtuellen Organisation (VO) [Kan10]. Drei weitere Publikationen untersuchten allgemein die Vor- und Nachteile von EAM in KMUs ohne Fokussierung auf ein allgemeingültiges Framework [BPSD14, TKSW15, WTS15]. Die Analyse von Wißotzki et al. gibt einen Überblick sowie Vergleich über die bis 2012 vorhandenen EAM Ansätze und berücksichtigt u.a. auch KMUs [WS12]. Die Arbeit von Bidan et al. untersuchte 2012 IS- Architekturen und Integrationsansätze explizit französische kleine und mittelständige Unternehmungen in einer empirischen Studie [BRT12].

Insgesamt acht Publikationen behandeln den Themenbereich *digitale Transformation*, auch hier ist eine weite Bandbreite zu finden (8). So gibt es einerseits die theoretischen Betrachtungen der digitalen Transformation, hierunter fällt die Arbeit von Viola et al., Unhelkar et al., sowie Kamal et al. [VMS05, UG10, KQ09]. Weitere Arbeiten legten den Schwerpunkt jedoch vermehrt auf eine praktische Anwendung: Kangilaski untersucht in zwei Arbeiten die Vorteile und Bedürfnisse VOs [Kan10, Kan12], eine andere Publikation evaluierte die Vorteile von virtuellen Fabriken [HAZ+13]. Neittaanmäki et al. untersuchte Transportoptimierungen aus EA-Sicht [NP15] und Bernaert et al. entwickelten eine Android Tablet-Applikation als Werkzeug für die EA-Modellierung [BMP13].

Strategisches Management ist mit fünf weiteren Veröffentlichungen als dritthäufigstes Forschungsthema vertreten (5). Die Ausprägungen sind, verglichen mit den ersten beiden Kategorien, weniger heterogen. Drei Publikationen entwickelten ein Referenz- oder Geschäftsmodell, teils anhand eines Fallbeispiels, teils als Handlungsanweisung für den Sprung von einem kleinen zu einem mittelgroßen Unternehmen [VCA+15, DC15, JK11]. Lee et al. identifizierte organisationales Lernen als strategisch wichtigen Erfolgsfaktor [LM09]. Wilton entwickelte eine strategische Planungsmethode [Wil09], Shoniregun klassifizierte in seiner Publikation auf den Informationssektor spezialisierte KMUs in Großbritannien [Sho04].

IT-Management und Business-IT-Alignment in KMUs fallen in der Relevanz im Vergleich zu anderen Arbeiten zurück. So beschäftigten sich nur vier Publikationen mit dem IT-Management (4). In zwei Publikationen geht es um die strategische Planung eines Informationssystems [Wil08, OSS03], die Beschreibung eines besonders schlanken, spezifischen IT-Management [SS17] sowie um ein Informationssystem im Veränderungsprozess [FGHO16]. Zwei Publikationen vertreten das Business-IT-Alignment (2). Darunter befinden sich die Vorstellung einer SOA [ARG09] und die Vorstellung von Erkenntnissen anhand einer langfristigen Studie zur Einführung einer IT-gestützten EA in einem kleinen Unternehmen [PM15].

3.3 RQ3: Wer ist in diesem Forschungsbereich aktiv?

Es konnten insgesamt 33 relevante Publikationen bei der Literaturanalyse identifiziert werden. Die meisten Publikationen kommen aus dem europäischen Raum. Belgien und Deutschland stellen zusammen die Hälfte aller gefundenen Publikationen. Besonders aktiv sind die belgischen Forscher Bernaert und Poels von der Universität Ghent. Beide waren zusammen mit insgesamt sieben Publikationen am aktivsten in dem Themenkomplex. Es wurde mit der Untersuchung von vorhandenen EAFs angefangen, um dann ein Meta-Modell für die Einführung von EA in KMUs sowie ein entsprechendes Werkzeug zu entwickeln. Wißotzki, von der Universität Rostock in Deutschland, veröffentlichte drei Publikationen. Wilton, Forscher der Massey University in Neuseeland, ist ebenfalls mit zwei Publikationen aktiv. Kangilaski, von der Tallinn University of Technology in Estland, trug mit zwei Publikationen zu dem vorliegenden Themengebiet bei.

3.4 RQ4: Welche Auslöser, Anforderungen und Erfolgsfaktoren sind relevant für EAM in KMU?

Die unterschiedlichen Forschungsansätze und die Hetegroenität der betrachteten Literatur erschwerte es einen geeigneten ggf. auch aggregierten Ansatz für die Nutzung von EAM in KMU zu identifizieren. Insbesondere die behavioristischen, qualitativen Analysen ergaben meist nur unternehmensspezifische Ergebnisse. Aus diesem Grund soll wurde nach Auslösern, Anforderungen und Erfolgsfaktoren für EAM in KMU gesucht, um in weiteren Untersuchungen ggf. Rückschlüsse auf die spezifisch gewählten Ansätze ableiten zu können. Somit werden im Folgenden *Auslöser* bzw. Ereignisse aufgezeigt werden, welche laut Literaturanalyse zu der Entscheidung geführt haben, EAM im KMUs zu implementieren.

Auslöser 1: Produktionssteigerung. In der Fallstudie von Valdez et al. [VCA+15], welche ein KMU im industriellen Sektor beschreibt, ist einer der Auslöser für die Einführung von EAM das Ziel die Produktion nachhaltig zu steigern. Dieses Ziel ist durch mehrere Faktoren erreicht worden, welche durch EAM begünstigt. Es sollten neue Technologien im Unternehmen implementiert werden, welche die Fertigungsprozesse

optimieren sowie gesammeltes Wissen mittels Ontologie speichern, um damit das organisatorische Wissen effizienter abrufbar zu machen.

Auslöser 2: Wachsende IT-Landschaften. Als weiterer Auslöser für die Einführung von EAM in KMUs wurden die wachsenden IT-Landschaften in den jeweiligen Unternehmen identifiziert. So schreiben Wißotzki et al. [WTS15], dass der wichtigste Grund für die Einführung von EAM die Beseitigung von versteckten Kosten innerhalb der eigenen IT-Landschaft ist, welche durch Konsolidierungs- und Standardisierungsmaßnahmen reduziert werden sollen.

Auslöser 3: Interoperabilität. Kangilaski [Kan10] beschreibt in seinem Artikel, dass die insbesondere die Bestrebungen VOs zu formen, welche auf höchster Ebene interoperabel agieren, ein Auslöser für EAM sein können. Die meisten KMUs müssen dafür Ihre Prozesse neu gestalten und Organisationsstrukturen adaptieren. Kangilaski [Kan10] schreibt dazu, dass VOs sich meist sehr einfach auch ohne EAM verwalten lassen können, wenn die Anzahl der zusammenarbeitenden Unternehmen fünf Unternehmen nicht überschreitet. Die Anzahl der Interoperabilitätsprobleme steigt jedoch bei mehr als fünf Unternehmen drastisch und benötigt ein entsprechendes Management. EAM ist in diesem Szenario die Möglichkeit effektivere VOs zu entwickeln. Viola et al. haben in ihrer qualitativen Querschnittsanalyse [VMS05] ebenfalls das Streben nach Interoperabilität als starken Treiber für die Einführung von EAM in KMUs ermittelt.

Nachfolgend sollen die *Anforderungen* an EAM oder EAM Frameworks aufgezeigt und erläutert werden. Als Anforderungen wurden zu erfüllende Eigenschaften oder zu erbringende Leistungen des EAMs in KMU gesammelt.

Anforderung 1: Geringe Komplexität und hohe Nutzerfreundlichkeit des EAM scheinen nach Auswertung der Literatur das Thema mit dem größten Einfluss auf die Einführung von EAM im KMU zu haben. Schweda und Schmidt gehen in ihrem Artikel [SS17] darauf ein, dass die etablierten Ansätze wie TOGAF und ITIL ein weites Feld an Zielen und Möglichkeiten aufzeigen, aber gerade die Operationalisierbarkeit für KMUs im Mittelpunkt steht. Bernaert et al. schreibt in seinem Artikel, dass gerade KMUs oftmals ein Problem hinsichtlich fehlender IT Expertise haben [BPSD14]. Hieraus ergibt sich die Anforderung nach einer geringeren Komplexität und einfacheren Handhabung von EAM Ansätzen [BPSD16, PM15, TKSW15, BP11, Hra12].

Anforderung 2: In KMUs sind Geschäftsführer (GF) und Besitzer des Unternehmens meist ein und dieselbe Person. Das breite Aufgabenfeld und das damit verbundene Fehlen an Zeit macht meist schwierig die Entscheidung hinsichtlich einer bis dahin unbekannten Managementdisziplin zu treffen. Weiterhin ist der Nutzen nicht immer in Zahlen ausdrückbar und damit für die Geschäftsführung nur schwer zu erfassen [BPSD14]. Aber die Kosten und Risiken sind laut Bernaert durch die drei Dimensionen Zeit, Geld und Anstrengung schnell ermittelbar. Vier weitere Artikel [IBP13, BMP13, DBP13, HAZ+13] gehen auf den Nutzenaspekt des EAMs für Unternehmen ein [Wil08].

Dieser Abschnitt stellt gefundene *Erfolgsfaktoren* für EAM im KMU vor.

Erfolgsfaktor 1: Engagement und IT- Bewusstsein. Kangilaskis zeigt auf, dass sich ohne das Einbeziehen und das Engagement der leitenden Verwaltung die Veränderungen in der EA nur schwer umsetzen lassen [Kan12]. Somit ist es für den Erfolg von EAM im Unternehmen wichtig, dass die Führungsebene in die Veränderungsprozesse mit eingebunden und informiert wird [IBP13]. Das setzt voraus, dass das Management die Relevanz der IT im eigenen Unternehmen erkannt und das passende Fähigkeitslevel für dessen Verwaltung besitzt [Wiß16]. Wilton schreibt, dass ein Hauptgrund für die Nicht-Einführung von EAM Mechanismen ein mangelndes IT- Bewusstsein zur Grundlage hat [Wil08].

Erfolgsfaktor 2: Operationalisierbarkeit. Laut Schmidt et al. ist der zentrale Erfolgsfaktor des EAM für KMUs die Auswahl und Detaillierung eines geeigneten Frameworks und die damit verbundene Operationalisierbarkeit ohne externe Experten [SS17].

Erfolgsfaktor 3: Flexibilisierung. Die Möglichkeit schnell auf Marktänderungen reagieren zu können unter Berücksichtigung der Kostenminimierung wird in der Analyse von Viola et al. [VMS05] in einer explorativen Studie von mittelständischen Unternehmen auf dem australischen Kontinent als treibende Kraft für die Einführung von EAM hervorgehoben. In diesem Zusammenhang beschreibt Dehbokry et al. ein Reference Model (BARM), welches sich mit der Flexibilisierung von KMUs beschäftigt. Laut Autor soll es sich in etablierte EAFs, wie Zachman oder Open Group integrieren lassen [DC15].

Erfolgsfaktor 4: Effizientere Prozessabläufe. Die Fallstudie von Neittaanmäki und Puranen beschreibt, dass KMUs mit komplexen und/oder vielen unterschiedlichen Prozessabläufen durch EA Unterstützung Verbesserungen erfahren können und daraus folglich Kosten für das Unternehmen minimieren können [NP15].

Unabhängig davon ob diese Punkte Auslöser, Anforderungen oder Erfolgsfaktoren darstellen grundsätzlich resümierten die untersuchten Artikel, dass die Unternehmen in profitieren, wenn sie die Möglichkeiten des EAM nutzen würden.

3.5 RQ5: Welche Art von Methoden, Frameworks, Prozesse ermöglichen EAM in KMU?

In diesem Abschnitt wird auf die letzte Forschungsfrage eingegangen. Dabei werden EAM Methoden, Frameworks bzw. Prozesse vorgestellt, welche im Zusammenhang mit KMUs gefunden wurden.

Frameworks: Bernaert et al. haben Zachman, TOGAF und andere EAFs näher untersucht, um die häufigsten Elemente zu identifizieren, die in EAFs vorgeschlagen werden [BPSD16]. [Hra12] hat zum Beispiel Erweiterungen für das TOGAF Framework vorgeschlagen, die eine neue Anordnung der EA Metamodelle in mehreren Veränderungsstufen vorsieht und die sich dann im Detailgrad unterscheiden. Dadurch

soll das TOGAF Framework bei einer vollständigen EA helfen um KMUs bei der digitalen Transformation zu unterstützen. Nähere Untersuchungen ergaben jedoch, dass eine weitere Vereinfachung für die Umsetzung in KMUs benötigt wird.

Bei Ponsard et al. [PM15] liegt der Fokus verstärkt auf sehr kleinen Unternehmen. Es wurde versucht herauszufinden, welches Framework sich für ein KMU am besten eignet. Dabei wurde u. a. festgestellt, dass vermehrt Hybridframeworks Verwendung finden, d.h. bestehende Frameworks auf den jeweiligen Anwendungsfall zugeschnitten werden, da die Ursprungsform meist nicht die Anforderungen kleinerer Unternehmen erfüllen konnte. TOGAF hat laut Ponsard et al. positive Charakteristiken für die Adaptierung in KMUs. Es bietet ein einfaches Metamodel, eine gute Semantik mit ausreichend Abstraktionsebenen sowie eine passende Methodik. Jedoch ist TOGAF in der Umsetzung immer noch sehr komplex und zeitintensiv, was viele KMUs von der Nutzung abhält [PM15].

Kamal et al. [KQ09] beschreibt eine Architektur bei der das Zachman Framework die Grundlage bildet. Die Architektur zielt auf Mikro-Unternehmen mit bis zu fünf Mitarbeitern ab. Das Ziel der Architektur ist die Integration von ökonomischen, sozialen und menschlichen Perspektiven, um Informations- und Kommunikationstechnologie möglichst einfach zu integrieren und weiter zu entwickeln. Mit diesem Ansatz soll das Wachstum und das Bestehen solcher Mikro-Unternehmen verbessert werden [KQ09].

Metamodell CHOOSE: Mit dem Metamodell CHOOSE von Bernaert et al. wurde ein EA Ansatz speziell für KMUs entwickelt. Als Grundlage dienen die von Bernaert et al. ermittelten Dimensionen von EAFs. Dazu zählt die Anwesenheit der vier Fokusse „warum“, „wer“, „wie“ und „was“, mindestens eine Mischung der drei architektonischen Schichten Geschäft, Informationssystem und Informationstechnologie sowie die Analyse des Strategieraums ohne Berücksichtigung von zukünftigen Einschränkungen. Das Metamodell wurde mittels Case Studies innerhalb von KMUs entwickelt und evaluiert [BPSD16].

Guidelines / Best Practices: Schmidt et al. stellt einen Ansatz vor, der Business-IT-Alignment für bestimmte KMUs unterstützen soll. Dabei sollen nicht nur harte Einflussfaktoren wie Stakeholder oder strategische Ziele berücksichtigt werden, sondern auch der Reifegrad der IT-Systeme sowie andere Managementsysteme spielen bei den Betrachtungen eine Rolle. Anhand von Pattern sollen praxiserprobte Lösungen und Vorgehensweisen für bestimmte Probleme im IT-Management aufgezeigt werden. Die Methode soll einen leichteren EAM Ansatz bereitstellen, indem das IT-Management pragmatisch von unten nach oben entwickelt wird und so kein komplexes Framework wie TOGAF benötigt wird [SS17].

4 Fazit und Ausblick

Das Gebiet von EA bzw. EAM in KMUs ist nach den Ergebnissen der SLA relativ wenig erforscht. Die meiste Aktivität gab es im Jahr 2009 und zwischen den Jahren 2012 sowie 2015. Bei den Forschungsthemen überwiegt die Anzahl des Themas "Einführung von EA/EAM in KMU" mit 16 Publikationen. Die digitale Transformation von KMUs folgt mit acht Publikationen und mit sechs das strategische Management. Mit sieben Veröffentlichen ist Bernaert und Poels von der Universität Ghent aus Belgien am aktivsten. Sie zeigen, mit ihrem theoretischen Metamodell "CHOOSE" bis hin zur Anwendung mittels Werkzeugunterstützung, am meisten Aktivität im Gebiet der Einführung von EA in KMUs [BPSD16, BMP13, DBP13, IBP13].

Es hat sich herausgestellt, dass eine möglichst geringe Komplexität des Ansatzes bzw. des Frameworks sowie dessen Anpassbarkeit für den jeweiligen Anwendungsfall eine der wichtigsten Anforderung für EAM in KMUs ist. Es existieren bereits Untersuchungen bestehende EAM Frameworks für KMUs anzupassen bzw. zu adaptieren, um diese Anforderung besser zu berücksichtigen. So können zum Beispiel angepasste Metamodelle, wie CHOOSE und dazu entstandene Werkzeuge dabei helfen, die Einführung von EAM möglichst einfach für KMUs zu gestalten. Dies gibt KMUs die Möglichkeit, mit eingeschränkten Ressourcen EAM umzusetzen. Andere Faktoren wie die Sichtbarmachung von Nutzen gegenüber Kosten und Risiken sind ebenfalls wichtige Aspekte. Des Weiteren hat sich gezeigt, dass gerade Unternehmen, welche starken sozioökonomischen Veränderungen ausgesetzt sind, von EAM profitieren können.

Für zukünftige Arbeiten könnten sich konkret mit den spezifischen Ebenen und Teilaktivitäten des EAMs befassen und die Besonderheiten für KMUs untersuchen.

Literaturverzeichnis

[ARG09] Florence Augusto, Jorge Ribeiro, and Rui Gomes. Service-oriented architecture adoption in a Portuguese company: a case study. *MCIS 2009 Proceedings*, pages 423–434, 2009.

[Ash08] Colin Ash. An Enterprise Architecture Framework for Information Management Improvement : Transforming Research into Practice. In *ACIS 2008*, number 2007, pages 66–75, 2008.

[BBR+14] S. Boone, M. Bernaert, B. Roelens, St. Mertens, and G. Poels. Evaluating and improving the visualisation of choose, An enterprise architecture approach for smes. *PoEM*, 197:87–102, 2014.

[BMP13] Maxime Bernaert, Joeri Maes, and Geert Poels. An Android Tablet Tool for Enterprise Architecture Modeling in Small and Medium-Sized Enterprises. *PoEM*, pages 145–160, 2013.

[BP11] M. Bernaert and G. Poels. The Quest for Know-How, Know-Why, Know-What and Know-Who: Using KAOS for Enterprise Modelling. In *Journal of Service Research*,

volume 13, pages 29–40. feb 2011.

[BPSD14] M. Bernaert, G. Poels, M. Snoeck, and M. De Backer. Enterprise Architecture for Small and Medium-Sized Enterprises: A Starting Point for Bringing EA to SMEs, Based on Adoption Models. *Information systems for Small and Medium-Sized Enterprises*, pages 67–96, 2014.

[BPSD16] Maxime Bernaert, Geert Poels, Monique Snoeck, and Manu De Backer. CHOOSE: Towards a metamodel for enterprise architecture in small and medium-sized enterprises. *Information Systems Frontiers*, 18(4):781–818, 2016.

[BRT12] Marc Bidan, Frantz Rowe, and Duane Truex. An empirical study of IS architectures in French SMEs: integration approachesâ€ . *European Journal of Information Systems*, 21(3):287–302, 2012.

[DBP13] Joost Dumeez, Maxime Bernaert, and Geert Poels. Development of Software Tool Support for Enterprise Architecture in Small and Medium-Sized Enterprises. In *CAiSE*, pages 87–98. 2013.

[DC15] Seyran Ghahramany Dehbokry and Eng Chew. Toward a Multi-disciplinary Business Architecture Reference Model for SMEs. *ECIS 2015*, (2015):1–17, 2015.

[FGHO16] Markus Finstad, Jacob Graff, Bernhard Hinna, and Nikolaus Obwegeser. Information Systems Change as Process: The Case of Forskerfabrikken. *MCIS 2016 Proceedings. Paper 26.*, (October):0–14, 2016.

[GRO09] GROW.F.4. COMMISSION STAFF WORKING DOCUMENT on the implementation of Commission Recommendation of 6 May 2003 concerning the definition of micro, small and medium-sized enterprises. 2009.

[HAZ+13] Ronny Hans, Sven Abels, Sebastian Zöller, André Miede, and Ralf Steinmetz. Enabling collaboration in virtual manufacturing enterprises with cloud computing. *AMCIS*:1341–1350, 2013.

[Hra12] Pavel Hrabe. Change of TOGAF structure and metamodel. (March), 2012.

[IBP13] Dennis Ingelbeen, Maxime Bernaert, and Geert Poels. Enterprise architecture software tool support for small and medium-sized enterprises: EASE. *AMCIS*:1404–1414, 2013.

[JK11] Dina Jacobs and Paula Kotzé. Enterprise architecture for small and medium enterprise growth. *Advances in Enterprise*, pages 61–75, 2011.

[Kan10] Taivo Kangilaski. Enterprise architecture management in virtual organization. *Industrial Technology (ICIT), 2010 IEEE International Conference on*, 7(3):1032–1037, 2010.

[Kan12] Taivo Kangilaski. *Implementation of networked enterprises reference model - Lessons learned*, volume 14. IFAC, 2012.

[KC07] Barbara Kitchenham and Stuart Charters. Guidelines for performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering. *Engineering*, 2:1051, 2007.

[KQ09] M Kamal and S Qureshi. How can information and communication technology bring about development?, *AMCIS 2009*, 3:1557–1566, 2009.

[Lan09] Marc Lankhorst. *Enterprise Architecture at Work*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin,

Heidelberg, 2009.

[LM09] David J C Lee and Michael D Myers. Making Enterprise System Work : The Role of Organizational Defensive Routines Making Enterprise Systems Work : The Role of Organizational. *Pacific Asia Journal of the Association for Information Systems*, 1(2), 2009.

[NP15] P. Neittaanmäki and T. Puranen. Scalable Deployment of Efficient Transportation Optimization for SMEs and Public Sector. In *Advances in Evolutionary and Deterministic Methods for Design, Optimization and Control in Engineering and Sciences*, volume 36, pages 473–484. 2015.

[OSS03] Robert O'Keefe, Philip Seltsikas, and Christina Silveira. eOperational Model : Correlating x-Service Provision to the IT / IS Function for Innovation and Alignment. *BLED 2003 Proceedings*, 2003.

[PM15] Christophe Ponsard and Annick Majchrowski. Driving the adoption of Enterprise Architecture inside small companies: Lessons learnt from a long term case study. *ICEIS*, 3:334–339, 2015.

[Sho04] Charles A Shoniregun. Classification and Taxonomy of TEISMEs. *Proceedings of the 6th International Conference on Electronic Commerce*, pages 196–200, 2004.

[SKP09] Brian Salmans, Leon Kappelman, and Robert Pavur. Organization Size, IT Capabilities, and EA Perceptions: Dark Clouds on the ERP Horizon? *AMCIS*, pages 1–11, 2009.

[SS17] Werner Schmidt and Christian M. Schweda. Leichtgewichtiges, unternehmensspezifisches IT-Management. In *Business-IT-Alignment*, pages 93–102. 2017.

[TKSW15] Felix Timm, Christina Köpp, Kurt Sandkuhl, and Matthias Wißotzki. Initial experiences in developing a reference enterprise architecture for sme utilities. *PoEM 2015*, 1497:31–40, 2015.

[UG10] Bhuvan Unhelkar and Athula Ginige. A framework to derive holistic business transformation processes. *ICE-B 2010 - Proceedings of the International Conference on e-Business*, pages 1–7, 2010.

[VCA+15] Alicia Valdez, Griselda Cortes, Orlando Arzola, Sergio Castaneda, and Alejandro Luna. Design of a business architecture in a medium metal mechanic firm. *Proceedings of the 2015 Science and Information Conference, SAI 2015*, pages 321–325, 2015.

[VMS05] Peter Viola, Iain Morrison, and Rens Scheepers. The adoption of web services based architectures in Australian organisations: An exploratory study. *ACIS 2005 Proceedings - 16th Australasian Conference on Information Systems*, (December), 2005.

[WF06] Robert Winter and Ronny Fischer. Essential Layers, Artifacts, and Dependencies of Enterprise Architecture. In *2006 10th IEEE International Enterprise Distributed Object Computing Conference Workshops (EDOCW'06)*, number May, pages 30–30. IEEE, 2006.

[Wil08] David Wilton. The Relationship between IS Strategic Planning and Enterprise

Architechtural Practice : Case Studies in New Zealand Enterprises. *Pacific Asia Conference Information System*, (Wilton), 2008.

[Wil09] David Wilton. A â€œ Do-It-Yourself â€ (DIY) IS Strategic Planning Methodology for SMEs. *ACIS 2009 Proceedings*, 2009.

[Wiß16] Matthias Wißotzki, Method Support For Enterprise Architecture Management Capabilities, *Dissertation*, University of Rostock, 2016

[WS12] Matthias Wißotzki and Anna Sonnenberger. Enterprise Architecture Management - State of Research Analysis & a Comparison of Selected Approaches. *5th IFIP WG 8.1 Working Conference, PoEM 2012*, pages 37–48, 2012.

[WTS15] Matthias Wißotzki, Felix Timm, and Anna Sonnenberger. A Survey on Enterprise Architecture Management in Small and Medium Enterprises. *Proceedings of the 17th International Conference on Enterprise Information Systems*, pages 213–220, 2015

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 2081

Transformation von Wertschöpfungsketten durch das Internet der Dinge – Bewertungsrahmen und Fallstudie

Dominik Schneider[1], Frank Wisselink[2] und Christian Czarnecki[3]

Abstract: Momentan finden in vielen Branchen umfassende Veränderungen von Märkten und Wertschöpfungsketten statt, welche auch als Digitale Transformation bezeichnet werden. In diesem Zusammenhang wird das Internet der Dinge (Internet of Things, IoT) als ein wichtiger technischer Enabler der Veränderungen angesehen. Primäre Ziele des IoT sind die Steuerung physischer Gegen-stände aus der Distanz und das Erfassen von Informationen aus dem Umfeld dieser Gegenstände. Welche neuen Geschäfts- bzw. Partnermodelle entstehen durch die gemeinsame Nutzung von IoT-Daten und Big-Data-Technologien und welcher qualitative Mehrwert wird dadurch geschaffen? Als Antwort wird in diesem Beitrag ein Bewertungsrahmen zur qualitativen Wertschöpfungsanalyse von IoT vorgeschlagen. Anhand dieses Bewertungsrahmens wird ein Anwendungsfall untersucht, der in anonymisierter Form an konkrete Praxisprojekte angelehnt ist. Konkret wird ein Anwendungsfall betrachtet, der eine Abfallwirtschaft 2.0 basierend auf dem Einsatz von IoT vorschlägt. Aus den Untersuchungsergebnissen gehen beispielsweise Erkenntnisse hervor, wie Geschäftsmodelle auf Basis eines unentgeltlichen Informationsaustauschs durch IoT gestaltet werden können.

Keywords: Digitale Transformation, Unternehmensarchitekturen, Internet der Dinge, Geschäftsmodelle, Wertschöpfungskettenanalyse.

1 Einleitung

In den vergangenen Jahren hat sich weltweit ein wachsendes Interesse an der Fähigkeit entwickelt, über eingebundene Geräte, Sensoren und Aktoren zu kommunizieren [Me15]. Schnell entstand die Vision, die physische Welt aus der Distanz wahrzunehmen und zu steuern [MF10, BS11]. Heute ist eine solche Vorstellung längst keine Vision mehr [Li16]. Aus rasanten Technologieentwicklungen ging ein erweitertes Internet hervor, „welches neben klassischen Rechnern und mobilen Endgeräten auch beliebige physische Gegenstände mittels Sensoren und Aktoren in seine Infrastruktur einbindet […]“ [FWW14]. Das erweiterte Internet wird als Internet der Dinge (Internet of Things; IoT) bezeichnet. Aus dem Zusammenspiel von Kommunikation zwischen Gegenständen oder Menschen und der Nutzung der daraus entstehenden Echtzeitdaten gehen bahnbrechende Möglichkeiten der Produktgestaltung und des funktionsübergreifenden Zusammen-arbeitens hervor, wodurch wiederum Wertschöpfungsketten bestehend aus

[1] Detecon International GmbH, Sternengasse 14-16, 50676 Köln, Dominik.Schneider@detecon.com
[2] Detecon International GmbH, Sternengasse 14-16, 50676 Köln, Frank.Wisselink@detecon.com
[3] Hochschule für Telekommunikation Leipzig, Gustav-Freytag-Straße 43-45, 04277 Leipzig, czarnecki@hft-leipzig.de

doi:10.18420/in2017_208

mehreren Akteuren verbessert werden können [Ar15, Bu16].

Wertschöpfungsketten können als Zusammenspiel von Aktivitäten verstanden werden [Po04], wobei durch neue Technologien teilweise fundamentale Veränderungen erzielt werden können [HC94]. In diesem Beitrag wird IoT als eine konkrete neue Technologie betrachtet. Diese Technologie kann Auswirkungen auf unterschiedliche Bereiche und Akteure einer Wertschöpfungskette haben. Insofern sind Unternehmensarchitekturen [UM07, Ma11] zur Strukturierung dieser Veränderungen empfehlenswert. Jedoch ist IoT eine noch neue und aus Marktperspektive schwer zu bewertende Technologie [Ga14, Ga15]. Um für Unternehmen die möglichen Auswirkungen von IoT auf die Wertschöpfungskette einschätzen zu können, wird in diesem Artikel ein qualitativer Bewertungsrahmen vorgeschlagen und anhand eines konkreten Anwendungsfalls demonstriert. In Bezug auf die Unternehmensarchitektur ist dieser Bewertungsrahmen der Strategieebene zugeordnet. Er kann als Basis dienen, um weitere Veränderungen in den Bereichen Prozesse, Daten und Anwendungssysteme abzuleiten. Damit wird ein Beitrag zur aktuellen Diskussion der digitalen Transformation geleistet. Mögliche Veränderungen und Nutzenpotenziale werden anhand eines konkreten Fallbeispiels verdeutlichet.

Die Entwicklung dieses Bewertungsrahmens folgt dem gestaltungsorientierten Forschungsparadigma [He04]: (1) Beschreibung der Problemdomäne IoT, (2) Entwicklung und Beschreibung des Bewertungsrahmens und (3) Evaluation des Bewertungsrahmens durch Anwendung in einem Praxisbeispiel. Der vorgeschlagene Bewertungsrahmen basiert auf bestehenden Ansätzen der Schablone nach Cockburn [Co03], dem makroökonomischen Wirtschaftskreislauf [BDK08], dem Business Model Canvas [OP09] und der Methodik von Agile Economics [Wi16]. Die Bewertung von Geschäftsmodellen des IoT ist ein aktuelles Problem aus der Praxis, so dass der vorgeschlagene Bewertungsrahmen als Weiterentwicklung bestehender Lösungen auf ein neues Problemfeld anzusehen ist, was ein originäres Ziel der gestaltungsorientierten Forschung der Wirtschaftsinformatik darstellt [SH13].

Der Beitrag ist wie folgt strukturiert. Die Problemdomäne IoT wird in Abschnitt 1 erläutert. Abschnitt 2 diskutiert kurz den aktuellen Stand der Forschung. In Abschnitt 3 werden zuerst bestehende Ansätze vorgestellt und in einen Bewertungsrahmen für IoT-Anwendungsfälle überführt. Die Anwendung des vorgeschlagenen Bewertungsrahmens auf einen konkreten Anwendungsfall aus der Praxis erfolgt in Abschnitt 4. Mit einem Fazit und Ausblick (siehe Abschnitt 5) schließt der Beitrag.

2 Stand der Forschung

2.1 Internet der Dinge

Aufgrund der zu erwartenden Nutzenpotenziale zeichnet sich weltweit ein wachsendes

Interesse am IoT und an Big Data ab, was sich an der Entwicklung des Such- und Forschungsinteresses erkennen lässt. Der Anwendung „Google Trends“ nach war das Suchinteresse für „IoT“ am 9. April 2017 und für „Big Data“ am 21. Februar 2016 im zeitlichen Verlauf der letzten fünf Jahre am höchsten (Stand: 13. April 2017). Auch [St15] diskutiert ein gestiegenes Forschungsinteresse am IoT. Dabei sind die beiden Technologien noch jung und aus Marktperspektive schwer zu bewerten. Ein Blick auf den Hype-Zyklus des amerikanischen Marktforschungsunternehmens Gartner [Ga14, Ga15] bestätigt diese Annahme. Denn zwischen 2014 und 2015 erreichten IoT und Big Data das sogenannte „Tal der Enttäuschungen“ [Ga14, Ga15]. Das bedeutet, dass die Technologien bis dahin nicht alle Erwartungen erfüllt haben, die in der vorherigen Hype-Phase entstanden sind.

Ursprünglich wurde das IoT u.a. von Kommunikationstechnologien wie Radio Frequency Identification (RFID) oder Bluetooth ermöglicht [PP14]. Die genannten Technologien sind insbesondere durch geringe Reichweiten charakterisiert, weshalb eine flächendeckende Vernetzung von Objekten nur schwer möglich ist. Vor einem Jahr wurde mit Narrowband Internet of Things (NB-IoT) eine Technologie standardisiert, die es ermöglicht, Hardwarekomponenten energieeffizient und unmittelbar über das Mobilfunknetz zu vernetzen. Gegenstände werden dadurch über große Reichweiten eigenständig kommunikationsfähig. Das IoT steht mit NB-IoT vor einem gestiegenen Nutzenpotenzial, da eine zunehmende Anzahl miteinander verbundener Gegenstände und der Austausch größerer Datenmengen realisierbar sind. Damit sind aus wirtschaftlicher Sicht neue, innovative Anwendungsfälle des IoT möglich, die auch bereits in der Praxis diskutiert werden. Durch die Standardisierung der neuen Schlüsseltechnologie NB-IoT wird es nun möglich, wesentlich größere Reichweiten abzudecken und eine höhere Energieeffizienz zu erzielen. Damit lassen sich nahezu alle Gegenstände mit einer integrierten Hardwarekomponente kommunikationsfähig machen, weshalb in diesem Zusammenhang auch von Massenfähigkeit des IoT gesprochen wird [Br16]. Durch diese Entwicklung ist ein Anstieg der miteinander verbundenen Gegenstände und damit auch der erzeugten Datenmengen zu verzeichnen. Insofern ist ein Nutzen aus dem Einsatz der NB-IoT-Technologie eng mit der Möglichkeit verbunden, diese Datenmengen schnell und zielführend zu analysieren. Genau diese Möglichkeit wird durch Big-Data-Technologien bereitgestellt [St15]. Im Folgenden erfolgt die Bewertung und Entwicklung von Anwendungsfällen auf Basis der NB-IoT-Technologie. Jedoch ist eine Abstraktion der Ergebnisse von der konkreten verwendeten Kommunikationstechnologie auf das gesamte IoT möglich, so dass im weiteren Verlauf des Beitrags der generelle Begriff IoT verwendet wird.

Durch die zielgerichtete Bereitstellung von Informationen entlang der Wertschöpfungskette sind damit neue Geschäftsmodelle möglich [Ar15]. Dabei ist zwischen den einzelnen Akteuren der Wertschöpfungskette der Austausch von Gütern bzw. Dienstleistungen, Informationen und Geld in einer Form zu gestalten, die einen Nutzenzuwachs für alle Beteiligten darstellt. Als nutzenstiftendes Element ist der zusätzliche Austausch von Informationen durch IoT anzusehen.

2.2 Unternehmensarchitektur

Bei der Einführung neuer Technologien, wie z.B. IoT, sind Unternehmensarchitekturen ein bewährter Ansatz zur Strukturierung und Gestaltung der notwendigen Veränderungen. Grundsätzlich ist dabei zwischen (1) der *generellen Struktur* und (2) den *konkreten Inhalten* zu unterscheiden. Rahmenwerke für Unternehmensarchitekturen, sogenannte *Enterprise Architecture Frameworks* (EAF), können als Referenz genutzt werden [UM07, Ma11]. Ziel ist die fundamentale Organisation eines Unternehmens durch die Strukturierung der relevanten Komponenten und deren Abhängigkeiten [WF07]. Darüber hinaus werden Methoden zur Gestaltung, Bewertung, Einführung und kontinuierlichen Verbesserung vorgeschlagen [Ah12, Ha12]. Es existieren eine Vielzahl unterschiedlicher EAF [UM07], siehe [Sc04] und [Ma11] für eine Übersicht. Neben den strukturellen und methodischen Empfehlungen eines EAF sind bei der konkreten Gestaltung einer Unternehmensarchitektur inhaltliche Empfehlungen notwendig. Diese inhaltlichen Empfehlungen sind häufig domänenspezifisch, wie z.B. ein Referenzmodell für den Handel [BS04], Geschäftsmodelle für ERP-Anbieter [Br14] oder eine Referenzarchitektur für die Telekommunikationsindustrie [CD17a, CD17b].

2.3 Gestaltung von IoT-Anwendungsfällen

In diesem Beitrag wird die Domäne IoT betrachtet. Es ist davon auszugehen, dass IoT Auswirkungen auf bestehende Wertschöpfungsketten hat und dass durch IoT neue Geschäftsmodelle im Zusammenspiel unterschiedlicher Akteure entstehen können. Bestehende Forschungsbeiträge diskutieren, wie das Zusammenspiel dieser unterschiedlichen Akteure – welches auch als *Ecosystem* bezeichnet wird – gestaltet werden kann, z.B. [AC10] und [BK11]. In diesem Zusammenhang werden momentan unterschiedliche konkrete Anwendungsfälle in der Literatur diskutiert: Für die Automobilindustrie wird z.B. das Zusammenspiel von sechs Akteuren (u.a. Hersteller, Versicherung, Suchmaschine) beschrieben [TSL17]. Auch eHealth wird als erfolgsversprechende Domäne für den Einsatz von IoT angesehen [AS15].

Die einzelnen Akteure dieser IoT-Anwendungsfälle können über eine Unternehmens-architektur abgebildet werden, die z.B. in Anlehnung an [WF07] grob in die Ebenen (1) Strategie, (2) Prozesse, (3) Daten, (4) Applikationen und (5) Infrastruktur strukturiert werden kann. Ein erfolgreicher Austausch der einzelnen Akteure setzt eine Synchronisation ausgewählter Bereiche dieser Unternehmensarchitekturen voraus (siehe Abb. 1). So wären z.B. für einen Datenaustausch ein abgestimmtes Datenmodell und für einen monetären Austausch entsprechende Abrechnungsprozesse erforderlich.

Als erster Schritt zur Gestaltung dieser Austauschbeziehungen wird in diesem Beitrag ein Bewertungsrahmen für IoT-Anwendungsfälle vorgestellt, welcher der Strategieebene einer Unternehmensarchitektur zuzuordnen ist. Dazu werden bestehende Ansätze zur Bewertung von Geschäftsmodellen, wie die Schablone nach Cockburn [Co03], der makroökonomische Wirtschaftskreislauf [BDK08], das Business Model Canvas [OP09]

und die Methodik von Agile Economics [Wi16], zusammengeführt und auf die Besonderheiten der Problemdomäne IoT angepasst. In diesem Zusammenhang sind reale Gegenstände in einer Form miteinander so zu verknüpfen, dass durch den Datenaustausch in Verbindung mit Güter- bzw. Dienstleistungsströmen ein Nutzenpotenzial für alle Beteiligten entsteht. In Abschnitt 3 werden die bestehenden Ansätze kurz diskutiert, und auf dieser Grundlage wird dann der vorgeschlagene Bewertungsrahmen für IoT entwickelt.

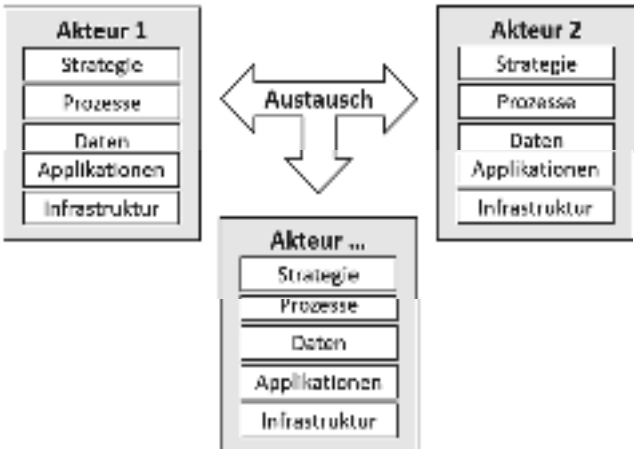


Abb. 1: Unternehmensarchitekturen der IoT-Akteure

3 Entwicklung eines Bewertungsrahmens für IoT-Anwendungsfälle

Im vorliegenden Kapitel gilt es die relevanten, generischen Modelle im ersten Schritt zu beschreiben und im zweiten Schritt zu einem Bewertungsrahmen für die qualitative Wertschöpfungsanalyse von IoT-Anwendungsfällen zusammenzuführen und zu erweitern.

Die *Schablone nach Cockburn* eignet sich für die Vorstellung verschiedener Anwendungsfälle in einem einheitlichen Format. Benannt ist sie nach dem schottischen Informatiker Alistair Cockburn, der unter einem Anwendungsfall allgemein das Verhalten eines Systems versteht, welches sich aus mehreren Akteuren zusammensetzt. Zuerst ist der Kontext des Systems zu beschreiben, wobei das primäre Ziel des Systems und die auslösende Anfrage des Primärakteurs im Fokus stehen [Co03]. Der Primärakteur ist dadurch charakterisiert, dass er durch eine bestimmte Absicht den Anwendungsfall auslöst [Co03]. Anschließend sind die Interessen des Primärakteurs und der weiteren Akteure zu betrachten [Co03]. Bei einem Anwendungsfall werden die Interessen aller Beteiligten gewahrt, da sonst das Verhalten des Systems nicht aufrecht gehalten werden kann [Co03]. Auch nach der Modellierungssprache *Unified Modeling*

Language (UML) findet die Betrachtung des Systemkontexts und der beteiligten Akteure Anwendung [BRJ06]. Es handelt sich dabei also um eine gängige Methode zur Beschreibung von Anwendungs-fällen.

Der *einfache makroökonomische Wirtschaftskreislauf* ist ein Modell, in dem die volkswirtschaftlichen Wechselwirkungen zwischen Haushalten und Unternehmen abgebildet werden. Mit Wechselwirkungen sind Geldströme und Güter- bzw. Dienstleistungsströme gemeint. Die gegenseitige Abhängigkeit der Haushalte und Unternehmen ist eine von zwei Modelleigenschaften [BDK08], die das Modell charakterisieren. Haushalte können demnach im einfachen Wirtschaftskreislauf keinen Wert ohne Unternehmen schöpfen, und umgekehrt. Die zweite Modelleigenschaft – die gleichgewichtige Ruhelage – bedeutet, dass jeder Leistung auch eine Gegenleistung mit gleichem Wert gegenüber steht [BDK08].

Das *Business Model Canvas* ist ein Werkzeug, das zur Beschreibung, Analyse und Gestaltung von Geschäftsmodellen eingesetzt wird [OP09]. Es hilft dabei, die Geschäftsmodelle der an einem Anwendungsfall beteiligten Akteure zu untersuchen und somit die Interessen der Akteure zu verstehen [OP09]. Daher ist es für die qualitative Wertschöpfungsanalyse von großer Bedeutung. Das Business Model Canvas besteht grundsätzlich aus neun sogenannten *Building Blocks*, die eine Betrachtung von Geschäftsmodellen anhand verschiedener Kriterien ermöglichen.

Die im Innovationscontrolling eingesetzte Methodik *Agile Economics* dient dazu, Geschäftsmodelle von Innovationen mit erwarteten grundlegenden Veränderungen zu quantifizieren [Wi14]. Damit wird das Ziel verfolgt, Geschäftsszenarien mithilfe von Pilotprojekten zu verstehen und Wissen darüber zu sammeln, um die Unsicherheit der getroffenen Annahmen und das Risiko zu minimieren [Wi14]. Agile Economics eignet sich auch, um die Wertschöpfung zu validieren, über die an dieser Stelle die Brücke zur Analyse der Wertschöpfung durch Big Data geschlagen wird. Der wirtschaftliche Mehrwert von Big Data liegt im Informationswert, der für eine Organisation entsteht, wenn sie einen bestimmten Sachverhalt besser und schneller erkennt [Wi16].

In vier aufeinander folgenden Schritten gilt es in der qualitativen Wertschöpfungsanalyse (1) den Anwendungsfall vorzustellen, (2) die Geschäftsbeziehungen zwischen den beteiligten Akteuren abzubilden, (3) die Geschäftsmodelle der einzelnen Akteure zu beschreiben und (4) den Mehrwert aus der Sicht der Akteure entlang der gesamten Wertschöpfungskette zu analysieren.

Die Vorstellung des Anwendungsfalls erfolgt in Anlehnung an die Schablone nach Cockburn. Der wichtigste Analyseschritt ist jedoch die Abbildung der Geschäfts-beziehungen zwischen den Beteiligten, weil dabei die gesamte Ende-zu-Ende-Wertschöpfungskette untersucht wird. Da ein Anwendungsfall nur dann einen Wert erzielen kann, wenn ein expliziter Endkundennutzen erzeugt wird und der Wert für den Kunden konsequent im Fokus steht, ist einer Ende-zu-Ende-Analyse eine hohe Bedeutung zuzurechnen [Ar15]. Es bietet sich dazu an, die Modelleigenschaften und die Art und Weise der Visualisierung des einfachen makroökonomischen

Wirtschaftskreislaufs zu verwenden. Weil die volkswirtschaftlichen Zusammenhänge zwischen Haushalten und Unternehmen für die Wertschöpfungsanalyse jedoch nicht relevant sind, wird das Modell für die Analyse verschiedener Anwendungsfälle generalisiert. Außerdem gelten bei Anwendungsfällen des IoT vor allem Daten und Informationen als wichtige Wirtschaftsgüter, weshalb das Modell des Wirtschaftskreislaufs um Daten- und Informationsströme ergänzt wird.

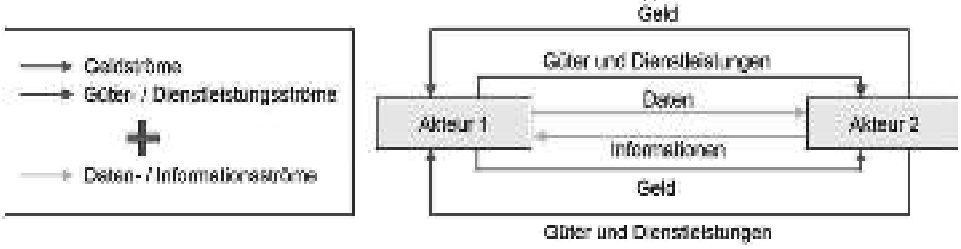


Abb. 2: Generalisierung des Wirtschaftskreislaufs und Ergänzung um Daten- und Informationsströme

Die beschriebene Modifikation des Wirtschaftskreislaufs (siehe Abb. 2) macht es möglich, die Geld-, Güter- und Dienstleistungs-, sowie Daten- und Informationsströme zwischen verschiedenen Akteuren zu veranschaulichen. Beispielsweise stellt der Akteur 1 dem Akteur 2 Daten zur Verfügung, wofür er als Gegenleistung Informationen erhält. In Hinblick auf die Wertschöpfungsanalyse kann der Akteur 2 als Big Data-Nutzer gesehen werden, weil dieser die Daten von Akteur 1 auswertet, mit anderen Datenquellen anreichert und in Form von Informationen zurückliefert. Die Informationen kann der Akteur 1 für verschiedene Geschäftszwecke oder interne Optimierungsaufgaben verwenden. In der Abwandlung des Wirtschaftskreislaufs bleiben die gegenseitige Abhängigkeit der Beteiligten und die gleichgewichtige Ruhelage als wichtige Modelleigenschaften bestehen.

Unter Verwendung des Business Model Canvas stehen für die Beschreibung der einzelnen Geschäftsmodelle das Werteangebot, sowie die Schlüsselressourcen, Schlüsselaktivitäten und Schlüsselpartner als relevante Betrachtungsperspektiven im Vordergrund [OP09]. Das Werteangebot versteht den Wert, der dem Kunden konkret angeboten wird, und die Kundenbedürfnisse, die damit befriedigt werden. Mit den Schlüsselressourcen werden benötigte physische, intellektuelle, menschliche und finanzielle Ressourcen betrachtet. Die Schlüsselaktivitäten beschreiben nach Produktion, Problemlösung und Plattform bzw. Netzwerk kategorisierte Aktivitäten zur Erstellung des Werteangebots. Im Building Block Schlüsselpartner wird darauf eingegangen, welche Schlüsselressourcen von welchen Partnern bezogen werden können. Anschließend wird für die Analyse des Mehrwerts durch IoT das Modell der Agile Economics Methodik aus der Sicht des Big Data-Nutzers verwendet. Es gilt damit zu untersuchen, welche Daten zu welchen besseren Informationen analysiert werden und wie diese besseren Informationen für agiles Handeln genutzt werden können.

4 Fallstudie zur Anwendung des Bewertungsrahmens in der Praxis

Der in Abschnitt 3 beschriebene Bewertungsrahmen für IoT wird in diesem Abschnitt für die qualitative Wertschöpfungsanalyse eines IoT-Anwendungsfalls angewendet. Dabei findet die Kommunikation der einzelnen Artefakte über die neue Technologie NB-IoT statt. Der Anwendungsfall demonstriert, welche Mehrwerte für die Akteure eines Anwendungsfalls durch den Einsatz von IoT erzielt werden können und welche neuen Geschäfts- und Partnermodelle entstehen. In Bezug auf das zugrunde liegende gestaltungs-orientierte Forschungsparadigma [He04] stellt der in Abschnitt 3 vorgestellte Bewertungs-rahmen eine generische Referenz dar, deren Evaluation in diesem Abschnitt durch ein Praxisbeispiel belegt wird. Der Anwendungsfall ist eine zusammengefasste und teilweise anonymisierte Darstellung von konkreten Praxisprojekten. Die Darstellung basiert auf dokumentierten und publizierten ersten Anwendungsfällen von IoT, was als valider Ansatz zur Erforschung von Praxisphänomenen angesehen wird [Yi09]. Untersucht wird nachfolgend eine *Abfallwirtschaft 2.0*, die auf NB-IoT und Big Data basiert.

Bei der Abfallwirtschaft 2.0 geht es um eine optimierte Abfallwirtschaft, die auf den Einsatz vernetzter Müllcontainer gestützt ist [Hu15, En17]. Die mit NB-IoT-Konnektivität ausgestatteten öffentlichen und privaten Müllcontainer senden zur Realisierung des Anwendungsfalls u.a. Daten zum aktuellen Füllstand, die zur Berechnung einer optimierten Abfallentsorgungsroute verwendet werden können. NB-IoT eignet sich aus verschiedenen Gründen für die Vernetzung der Müllcontainer. Der erste Grund dafür ist, dass Müllcontainer ihre Energie nur von kleinen, integrierten Batterien beziehen, weshalb eine energieeffiziente Kommunikationstechnologie zum Austausch von Daten erforderlich ist. Zweitens stehen Müllcontainer über gesamte Stadtgebiete verteilt, weshalb sie über große Reichweiten und auch aus Kellerräumen kommunizieren können müssen. Darüber hinaus erfordert die Vernetzung der Masse an Müllcontainern eines Stadtgebiets günstige Hardwarekomponenten und die Fähigkeit einer Mobilfunkzelle, mehrere tausend Verbindungen gleichzeitig zu verarbeiten.

In Anlehnung an die Schablone nach Cockburn wird der Anwendungsfall dadurch ausgelöst, dass eine Stadt die Abfallwirtschaft effizienter gestalten möchte, um gesundheitliche, ökologische und ökonomische Probleme zu vermeiden. Dazu werden optimierte Abfallentsorgungsrouten in Betracht gezogen, die darauf abzielen, nur die Müllcontainer mit dem Abfallentsorgungsfahrzeug anzufahren und zu leeren, bei denen es wirtschaftlich sinnvoll ist. Um zu wissen, wann die Leerung eines Müllcontainers wirtschaftlich sinnvoll ist, muss jeder Müllcontainer mit einer kommunikationsfähigen Hardwarekomponente und einem Sensor zur Messung des Füllstandes ausgestattet sein. Welche Akteure neben der Stadt für die Realisierung der Abfallwirtschaft 2.0 erforderlich sind und wie sie miteinander interagieren, zeigt Abb. 3.

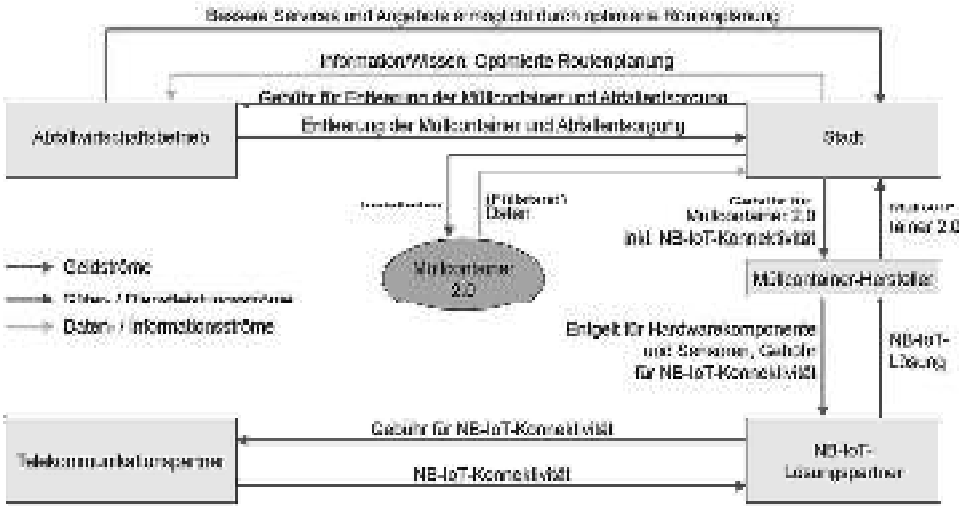


Abb. 3: Geschäftsbeziehungen zwischen Akteuren der Abfallwirtschaft 2.0

Die Wertschöpfungskette der Abfallwirtschaft 2.0 beginnt beim Telekommunikationspartner, der dem NB-IoT-Lösungspartner NB-IoT-Konnektivität verkauft. Der Lösungspartner baut die NB-IoT-Konnektivität mittels eines Chips, der einer SIM-Karte nahe kommt, in die Hardwarekomponente ein. Der Chip ermöglicht die Identifikation der Hardwarekomponente im Mobilfunknetz und damit auch die NB-IoT-Nutzung. Der Lösungspartner verkauft dem Müllcontainer-Hersteller die kommunikationsfähige Hardwarekomponente und zusätzliche Sensoren als NB-IoT-Lösung, der sie in einen Müllcontainer zur Erfassung und Übertragung von Daten integriert. An dieser Stelle der Wertschöpfungskette entsteht ein *Müllcontainer 2.0*. Für die Bereitstellung von Müllcontainern 2.0 erhält der Müllcontainer-Hersteller von der Stadt eine Gebühr, die einen Anteil für die NB-IoT-Konnektivität beinhaltet. Der Abfallwirtschaftsbetrieb leert die in der Stadt installierten Müllcontainer regelmäßig, wofür er von der Stadt entlohnt wird. Durch die Installation der Müllcontainer 2.0 lassen sich neue Daten über die Füllstände erfassen, die über NB-IoT an die Stadt gesendet, mithilfe von Big Data-Technologien ausgewertet und als Informationen bzw. Wissen an den Abfallwirtschaftsbetrieb übertragen werden. Durch die besseren Informationen wird es dem Abfallwirtschaftsbetrieb ermöglicht, der Stadt, die das Ende der Wertschöpfungskette darstellt, bessere Services anzubieten und individuelle Angebote zu machen. Es entsteht ein Endkundennutzen, der im Folgenden basierend auf dem Agile-Economics-Modell genauer beleuchtet wird.

Durch die Summe vieler kleiner Datenmengen von Müllcontainern 2.0 entstehen große Datenmengen. Zusätzlich können für die Datenanalyse weitere Datenquellen verwendet werden, wodurch zum einen noch größere Datenmengen anfallen und zum anderen eine hohe Varianz in den Datenmengen entsteht. Mithilfe von Big Data kann die Stadt aus den großen Mengen strukturierter und unstrukturierter Daten bessere Informationen

gewinnen. Zunächst lässt sich aus den von einem Müllcontainer 2.0 gesendeten Daten als bessere Information der Füllstand ableiten, der für die Erstellung der optimierten Abfall-entsorgungsroute am wichtigsten ist. Wenn jeder Müllcontainer 2.0 bei einer Füllstandveränderung eine NB-IoT-Nachricht mit dem neuen Füllstand an die Stadt sendet, können daraus mit Big Data Muster erstellt werden, die Auskunft darüber geben, zu welcher Zeit und an welchem Ort sich das höchste Abfallaufkommen entwickelt. Unter der Annahme, dass das Abfallaufkommen mit der Menge an Menschen korreliert, lässt sich daraus des Weiteren ableiten, zu welcher Zeit und an welchem Ort sich wie viele Menschen aufhalten. Durch die Kombination aktueller Füllstanddaten mit historischen Füllstanddaten, Wetterprognosen und Veranstaltungsdaten können bessere Informationen über das zu erwartende Abfallaufkommen und den Bedarf an Müllcontainern gewonnen werden. Es entsteht durch den Einsatz von Big Data also eine Menge besserer Informationen, die für die Stadt, den Abfallwirtschaftsbetrieb und die Einwohner wert-schöpfend sein können, wenn sie für zielgerichtetes, agiles Handeln eingesetzt werden.

Ein bereits genanntes Beispiel für agiles Handeln ist die Generierung optimierter Abfallentsorgungsrouten. Bei der optimierten Abfallentsorgungsroute werden die Müllcontainer mit einem niedrigen Füllstand vom Abfallentsorgungsbetrieb nicht angefahren und geleert, da eine Entleerung vermutlich nicht wirtschaftlich ist. Für die Berechnung der Wirtschaftlichkeit, die auch ein Beispiel für agiles Handeln mit besseren Informationen ist, werden neben Füllstandinformationen auch Informationen wie die Anzahl der einem Abfallwirtschaftsbetrieb zur Verfügung stehenden Entsorgungs-fahrzeuge, die jeweiligen Fassungsvolumen, das zeitabhängige Straßenverkehrs-aufkommen und die Straßenrestriktionen in einer Stadt verwendet. Von agilem Handeln kann auch gesprochen werden, wenn Informationen über die Höhe des Abfallaufkommens bzw. die Menge der Menschen zu einer bestimmten Zeit, an einem bestimmten Ort für die Optimierung von Geschäften z.B. durch geeignete Werbemaßnahmen genutzt werden. In Abhängigkeit von dem erwarteten Abfallaufkommen und dem ermittelten Bedarf an Müllcontainern kann die Stadt prädiktiv handeln und zusätzliche Müllcontainer an den richtigen Orten aufstellen. Weitere Nutzung der Informationen ist denkbar, so dass die hier vorgestellten Nutzenpotenziale für agiles Handeln als beispielhaft zu verstehen sind. Schlussendlich lassen sich eine erhöhte Sauberkeit und eine Reduzierung der Kohlenstoffdioxid-Emissionswerte in der Stadt als Resultat einer optimierten Abfallwirtschaft festhalten, was sich positiv auf die Gesundheit und die Lebensqualität der Bevölkerung auswirkt. Aus der Betrachtungsperspektive des Abfallwirtschaftsbetrieb können Kraftstoffverbrauche reduziert und Verschleiß an den Abfallentsorgungs-fahrzeugen verringert werden.

5 Fazit und Ausblick

Aufgrund der zunehmenden Verbreitung des IoT – was auch durch die technischen

Möglichkeiten des NB-IoT begünstigt wird – können neue Geschäftsmodelle entstehen. Dabei ist IoT als neue Datenquelle anzusehen, aus deren zielführender Analyse durch Einsatz von Big-Data-Ansätzen Nutzenpotenziale entstehen können. Dabei ist die Frage, wie IoT in neuen Geschäfts- und Partnermodellen so genutzt werden kann, dass ein Nutzen für alle Beteiligten entlang der Wertschöpfungskette entsteht. So sind z.B. Hardware-Konnektivitäts-Partnerschaften zwischen Hardwareherstellern und Telekommunikationsanbietern zur Herstellung von obligatorischen IoT-Lösungen oder aber auch Daten-Informations-Partnerschaften zwischen Big-Data-Plattform-Betreibern und Daten- bzw. Informations-Nutzern zur Generierung von qualitativen Mehrwerten denkbar.

Die daraus entstehenden Veränderungen haben umfangreiche Auswirkungen auf die Strukturen und Systeme der beteiligten Unternehmen. Eine Gestaltung dieser Veränderungen durch Unternehmensarchitekturen ist empfehlenswert. Für eine erste Einordnung der möglichen Veränderungen schlägt der vorliegende Beitrag einen Bewertungsrahmen zur qualitativen Analyse von IoT-Anwendungsfällen vor. Dieser Bewertungsrahmen ist der Strategieebene zuzuordnen und kann als Basis dienen, um weitere Auswirkungen auf Prozesse, Daten und Anwendungssysteme abzuleiten. Die Anwendung des Bewertungsrahmens wird anhand eines Praxisbeispiels erläutert, was als eine erste Validierung anzusehen ist. Somit wird mit dem vorgeschlagenen Bewertungsrahmen ein Lösungsansatz geliefert, der bei der aktuellen Diskussion in der Praxis als Referenz genutzt werden kann.

Anhand des Praxisbeispiels Abfallwirtschaft 2.0 ist zu sehen, dass NB-IoT zu neuen Geschäftsmodellen führen kann, wie z.B. der datenbasierten Optimierung herkömmlicher Produkte und Dienstleistungen sowie dem Verkauf oder der unentgeltlichen Bereitstellung von Daten oder Informationen unter Beachtung der Datenschutz-Richtlinien und -Gesetze. Die unentgeltliche Bereitstellung von Daten oder Informationen, wie sie bei der Abfall-wirtschaft 2.0 zwischen der Stadt und dem Abfallwirtschaftsbetrieb stattfindet, wird nach der Durchführung der qualitativen Wertschöpfungsanalyse als künftig bedeutsames Geschäftsmodell angesehen. Der Mehrwert bei diesem Geschäftsmodell entsteht nicht zwingend und unmittelbar durch eine finanzielle oder materielle Gegenleistung, sondern durch Wertschöpfungsaktivitäten anderer Akteure, die dem unentgeltlichen Daten-lieferanten einen mittelbaren Mehrwert verschaffen. Bei der Abfallwirtschaft 2.0 stellt die Stadt dem Abfallwirtschaftsbetrieb z.B. eine optimierte Abfallentsorgungsroute als Information unentgeltlich zur Verfügung. Die optimierte Abfallentsorgungsroute wird erst durch Big Data-Analysen der Stadt ermöglicht, die der Stadt wiederum optimierte Dienstleistungen durch den Abfallwirtschaftsbetrieb einbringen. Darüber hinaus kann die Stadt die Daten und Informationen über das Abfallaufkommen, das möglicherweise in Korrelation mit der Menge an Menschen steht, unentgeltlich an Dritte weitergeben, um Geschäfte zu verbessern und langfristig von Steuereinnahmen und einer höheren Attraktivität der Stadt zu profitieren. Aus den ermittelten neuen Geschäftsmodellen lassen sich folglich qualitative Mehrwerte ableiten. Dazu zählen vor allem Effizienz- und Produktivitätssteigerungen, Kosteneinsparungen, sowie Produkt- und Dienstleistungs-

optimierungen.

Mit der Entwicklung eines Bewertungsrahmens für IoT-Anwendungsfälle und der Demonstration anhand eines konkreten Beispiels wird ein Beitrag zur aktuellen Diskussion der Veränderung von Wertschöpfungsketten durch IoT geliefert. Basierend darauf können konkrete Veränderungen von Prozessen, Daten und Anwendungssystemen abgeleitet und mit Hilfe von Unternehmensarchitekturen gestaltet werden. Die konkrete Untersuchung und Gestaltung dieser Veränderungen kann – z.B. anhand des vorgestellten Anwendungsfalls – der Startpunkt für weitere Forschungsaktivitäten sein. Außerdem sind weitere Erkenntnisse durch die Übertragung der vorgestellten Ergebnisse auf weitere Anwendungsfälle möglich.

Literaturverzeichnis

[AC10] Arlandis, A.; Ciriani, S.: How firms interact and perform in the ICT ecosystem? Communications and Strategies, S. 121-141, 2010.

[Ah12] Ahlemann, F. et. al.: Strategic Enterprise Architecture Management. Challenges, Best Practices, and Future Developments. Springer, Heidelberg, 2012.

[Ar15] Arnold, H. M.: Zum Geleit: Datability und Digitalisierung. In (Linnhoff-Popien, C.; Zaddach, M.; Grahl, A., Hrsg.): Marktplätze im Umbruch. Springer, Berlin Heidelberg, S. 705-712, 2015.

[AS15] Anke, J.; Schwatke, A.: Das Internet der Dinge als Grundlage für innovative e-Health-Dienste. In (Eppinger, E. et. al., Hrsg.): Dienstleistungspotenziale und Geschäftsmodelle in der Personalisierten Medizin. Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden,
S. 485-513, 2015.

[BDK08] Bonrath, T.; Dinkela, A.; Kührt, P.: Volkswirtschaftslehre für Fachoberschulen und Berufsoberschulen in Bayern. Bildungsverlag EINS GmbH, Troisdorf, 2008.

[BK11] Basole, R. C.; Karla, J.: On the evolution of mobile platform ecosystem structure and strategy. Business & Information Systems Engineering 3/2011, S. 313-322, 2011.

[Br14] Brockmann, C.: An approach to design the business model of an ERP vendor. Gito, Berlin, 2014.

[Br16] Breyer-Mayländer, T.: Management 4.0 – Den digitalen Wandel erfolgreich meistern. Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG, 2016.

[BRJ06] Booch, G.; Rumbaugh, J.; Jacobson, I.: Das UML Benutzerhandbuch. Addison-Wesley, Boston, 2006.

[BS04] Becker, J.; Schütte, R.: Handelsinformationssysteme. mi-Wirtschaftsbuch, 2004.

[BS11] Bandyopadhyay, D.; Sen, J.: Internet of Things – Applications and Challenges in Technology and Standardization. In: Wireless Personal Communications 1/2011. Springer US, S. 49-69, 2011.

[Bu16] Buschbacher, F.: Wertschöpfung mit Big Data Analytics. In (Schäffer, U.; Weber, J., Hrsg.): Controlling & Management Review Sonderheft 1/2016. Springer Fachmedien, Wiesbaden, S. 40-45, 2016.

[CD17a] Czarnecki, C.; Dietze, C.: Reference Architecture for the Telecommunications Industry: Transformation of Strategy, Organization, Processes, Data, and Applications. Springer, Heidelberg, 2017.

[CD17b] Czarnecki, C.; Dietze, C.: Domain-Specific Reference Modeling in the Telecommunications Industry. In (Maedche, A.; vom Brocke, J.; Hevner, A., Hrsg.): Designing the Digital Transformation. Springer International Publishing, S. 313-329, 2017.

[Co03] Cockburn, A.: Use Cases effektiv erstellen. Mitp Verlags GmbH & Co. KG, 2003.

[En17] Enevo Oy: Optimising Waste Collection. 2017, http://www.enevo.com/. Abruf am 2017-04-29.

[FWW14] Fleisch, E.; Weinberger, M.; Wortmann, F.: Geschäftsmodelle im Internet der Dinge. 2014, http://www.enzyklopaedie-der-wirtschaftsinformatik.de/lexikon/technologien-methoden/Rechnernetz/Internet/Internet-der-Dinge. Abruf am 2016-07-21.

[Ga14] Gartner, Inc.: Gartner's 2014 Hype Cycle for Emerging Technologies Maps the Journey to Digital Business. 2014, http://www.gartner.com/newsroom/id/2819918. Abruf am 2016-07-22.

[Ga15] Gartner, Inc.: Gartner's 2015 Hype Cycle for Emerging Technologies Identifies the Computing Innovations That Organizations Should Monitor. 2015, http://www.gartner.com/newsroom/id/3114217. Abruf am 2016-08-18.

[Ha12] Hanschke, I.: Enterprise Architecture Management - einfach und effektiv ein praktischer Leitfaden für die Einführung von EAM. Hanser, München, 2012.

[HC94] Hammer, M.; Champy, J.: Reengineering the corporation: A manifesto for business revolution. New York, NY: HarperBusiness, 1994.

[He04] Hevner, A. R.; March, S. T.; Park, J.; Ram, S. (2004): Design Science in Information Systems Research. In: MIS Quarterly 28. Institute for Operations Research and the Management Sciences, S. 75-105, 2004.

[Hu15] Huawei Technologies Co., Ltd.: NB-IoT – Enabling New Business Opportunities. 2015, http://www.huawei.com/minisite/iot/img/nb_iot_whitepaper_en.pdf. Abruf am 2017-03-12.

[Li16] Lin, C.; Ramakrishnan, K. K.; Liu, J.; Ngai, E.: Guest Editorial – Special Issue on Cloud Computing for IoT. In: IEEE Internet of Things Journal, 3/2016, S. 254-256, 2016.

[Ma11] Matthes, D.: Enterprise Architecture Frameworks Kompendium. Springer, Heidelberg, 2011.

[Me15] Mehmood, Y. et. al.: Mobile M2M communication architectures, upcoming challenges, applications, and future directions. In: EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking. Springer International Publishing, S. 1-37, 2015.

[MF10] Mattern, F.; Flörkemeier, C.: Vom Internet der Computer zum Internet der Dinge. In:

Informatik-Spektrum 2/2010. Springer Berlin Heidelberg, S. 107-121, 2010.

[OP09] Osterwalder, A.; Pigneur, Y.: Business Model Generation: A Handbook for Visionaries, Game Changers, and Challengers. John Wiley & Sons, New Jersey, 2009.

[Po04] Porter, M. E.: Competitive advantage. New York, London: Free, 2004.

[PP14] Pande, P.; Padwalkar, A. R.: Internet of Things – A Future of Internet: A Survey. In: International Journal of Advance Research in Computer Science and Management Studies 2/2014, S. 354-361, 2014.

[Sc04] Schekkerman, J.: How to survive in the jungle of enterprise architecture frameworks : creating or choosing an enterprise architecture framework. Trafford, 2004.

[SH13] Shirley, G.; Hevner, A. R.: Positioning and Presenting Design Science Research for Maximum Impact. In: MIS Quarterly 37. Institute for Operations Research and the Management Sciences, S. 337-356, 2013.

[St15] Strohbach, M. et. al.: Towards a Big Data Analytics Framework for IoT and Smart City Applications. In (Xhafa, F. et. al., Hrsg.): Modeling and Processing for Next-Generation Big-Data Technologies. Springer International Publishing, S. 257-282, 2015.

[TSL17] Terrenghi, N.; Schwarz, J.; Legner, C.: Representing Business Models in Primarily Physical Industries: An Ecosystem Perspective. In (Maedche, A.; vom Brocke, J.; Hevner, A. R., Hrsg.): Designing the Digital Transformation. DESRIST 2017 Research in Progress Proceedings, S. 146-153, 2017.

[UM07] Urbaczewski, L.; Mrdalj, S.: A Comparison of Enterprise Architecture Frameworks. In: Issues in Information Systems 7, S. 18-23, 2017.

[WF07] Winter, R.; Fischer, R.: Essential Layers, Artifacts, and Dependencies of Enterprise Architecture. In: Journal of Enterprise Architecture 2, S. 7-18, 2017.

[Wi14] Wisselink, F. et. al.: Agile Economics: A robust method for economic evaluation & controlling of game changing innovations like Big Data. Detecon International GmbH, Köln, 2014.

[Wi16] Wisselink, F. et. al.: The Value of Big Data for a Telco: Treasure Trove or Pandora's Box?. In (Detecon International GmbH, Hrsg.): Future Telco Reloaded: Strategies for Successful Positioning in Competition. Köln, S. 151-161, 2016.

[Yi09] Yin, R. K.: Case Study Research: Design and Methods. In: Sage Publications 4th Edition, Los Angeles, 2009.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 2095

Kollaboratives Management von Softwareprodukten im Rahmen von EAM

Tim Piontek[1]

Abstract: Dieser Artikel ist ein Beitrag aus der Praxis. Er beinhaltet einen Vorschlag für ein kollaboratives Management von Softwareprodukten durch unterschiedliche Stakeholder. Es wird zunächst motiviert, warum ein kollaboratives Management angestrebt werden sollte, wie die einzelnen Tätigkeiten aussehen und wie diese auf Rollen verteilt sind, welche Vorteile sich durch kollaboratives Management von Softwareprodukten ergeben und wie es mit dem Architektur-Governance einer EAM-Organisation verknüpft werden kann. Für die Architektur-Governance wird ein Template für einen Softwareprodukt-Steckbrief vorgestellt, anhand dessen die Einhaltung von organisationsweiten Vorgaben überprüft werden kann.

Keywords: Enterprise Architecture Management, Unternehmensarchitektur, Software-Produktmanagement, Governance von Softwareprodukten

1 Motivation

In vielen Organisationen gibt es keine einheitliche Übersicht über alle Softwareprodukte (SW-Produkte). Oftmals existieren mehrere IT-Systeme (z. B. CMDB, Lizenzmanagement-Datenbank o. ä.) und Listen, in denen Softwareprodukte mit unterschiedlichem Fokus geführt werden (z. B. Beschaffung, Lizenzmanagement, Konfiguration, Paketierung, usw.). Meist unterscheiden sich die Informationen in diesen Listen und Systemen erheblich, sowohl in deren Umfang und deren Definition als auch in den vorgehaltenen Attributen. Dabei ist oft nicht jede Informationssammlung notwendig, da die Listen oft historische gewachsen sind und ihre Notwendigkeit später nicht mehr hinterfragt werden. Es existiert oftmals kein konsistenter und ganzheitlicher Überblick für die gesamte Organisation. Dies führt unter Umständen dazu, dass bei Neubeschaffungen von SW-Produkten nicht einfach identifiziert werden kann, ob dieses Produkt bereits im Einsatz ist, in der Vergangenheit im Einsatz war oder ob bereits ähnliche Produkte genutzt werden.

Teil der EAM-Disziplin ist es, transparent zu machen, welche Solution-Building-Blocks [TOG11] in der Organisation existieren, um bereits vorhandene Lösungen wiederzuverwenden und womöglich zu standardisieren. Auch das Management der Softwareprodukte fällt zu einem gewissen Grad dem EAM zu [Ahl12]. Es stellt sich die Frage, in welcher Detailtiefe dieses Management betrieben werden muss, um den Aufgaben des EAM gerecht zu werden und ob es die alleinige Aufgabe des EAM sein muss / sein kann, dies zu gewährleisten. Gerade in größeren Organisationen kann die

[1] Capgemini Deutschland GmbH, Potsdamer Platz 5, 10785 Berlin, tim.piontek@capgemini.com

doi:10.18420/in2017_209

Anzahl der Softwareprodukte schnell 1.000 Produkte erreichen. Aufgrund der oft beschränkten Ressourcen der EAM-Organisationen muss das Ziel sein, den Rahmen zu bilden, für ein ganzheitliches aber verteiltes und kollaboratives Produktmanagement innerhalb der Organisation. Dazu gehört

- Ein gemeinsames Verständnis was Softwareprodukte sind
- Eine komplette Liste aller bereits eingesetzten Softwareprodukte bereitzustellen, auf dessen Grundlage unterschiedliche Stakeholder mit diversen Anforderungen arbeiten können.

Neben dem Management der vorhandenen Softwareprodukte kommt der Bewertung neu einzuführender Produkte eine große Bedeutung zu. Durch die Etablierung ausgewählter Produkte als organisationsweite Standardprodukte und die Verknüpfung mit (industriespezifischen oder hauseigenen) Referenzarchitekturen kann die IT-Landschaft aktiv gesteuert werden [CD17].

2 Eine zentrale Softwareproduktliste als Grundlage

Zunächst muss definiert werden, was Softwareprodukte sind.

Softwareprodukte werden außerhalb der Organisation für den „allgemeinen Markt“ entwickelt. Individualsoftware, die im Auftrag fremdentwickelt wird, wird nicht als Softwareprodukt geführt. Unter Softwareprodukten werden rein client-seitige, rein server-seitige und sowohl client- als auch server-seitige Softwareprodukte verstanden (darunter auch Betriebssysteme und Virtualisierungslösungen).

Zur Abgrenzung:

- Unterschiedliche Editionen (z. B. Standard- und Enterprise-Edition) werden nur dann separat geführt, wenn es dafür unterschiedliche Softwareprodukt-Manager gibt. Dies gilt ebenso für Produkte mit Beschränkungen des Einsatzkontextes (z. B. Unix-Edition, Windows-Edition, etc.).
- Unterschiedliche Versionen und Releases (z. B. 2008, 2009 oder 7.6.3 und 7.7) werden nicht unterschieden.
- Softwareprodukte sind eigenständig lauffähig (d. h. keine Programmbibliotheken / Libraries).
- Plugins / Add-ons, also optionale Erweiterungen oder Veränderungen zu einem Softwareprodukt werden nur dann als eigenständige Produkte geführt, wenn es sie gleichzeitig auch als isoliert einsetzbare SW-Produkte gibt.

Die durch die EAM-Einheit bereitgestellte Softwareproduktliste soll lediglich eine Grundlage darstellen, die dann wiederum von unterschiedlichen Organisationseinheiten hergenommen und für ihre separaten Anforderungen angepasst werden kann (es sollte zumindest ein Mapping existieren). Deshalb werden nur wenige Informationen gepflegt und aktuell gehalten. So kann z. B. der EAM-Bereich selbst diese Liste nutzen, um die Produkte im IT-Bebauungsplan zu verknüpfen und somit kenntlich zu machen, an welchen Stellen innerhalb der IT-Landschaft die Produkte zum Einsatz kommen. Ein anderer Bereich könnte die Elemente der gemeinsamen Liste hernehmen und z. B. die bestehenden Lizenzen verwalten.

Damit eine Softwareproduktliste den größtmöglichen Nutzen stiften kann, muss sie für alle Mitarbeiter an zentraler Stelle einsehbar sein.

2.1 Inhalt der Liste

In den folgenden Absätzen wird der Inhalt einer solchen SW-Produktliste näher erläutert. Zunächst werden die enthaltenen Elemente aufgezeigt. Dann wird eine Gruppierung der Produkte nach Nutzungskontext vorgeschlagen und abschließend wird der Aufbau einer solchen Liste im Detail vorgestellt.

Enthaltene Elemente

Die Softwareproduktliste enthält zunächst alle derzeit in der Organisation eingesetzten Produkte, wobei die Abgrenzung von Softwareprodukten eine große Rolle spielt (siehe Definition). Bei einer zu umfangreichen oder zu unsauber abgegrenzten Definition besteht die Gefahr, zu viel Arbeit mit zu wenig Nutzen zu erzeugen (z. B. wenn versucht wird auch Individualentwicklungen, SW-Bibliotheken, Libraries oder sogar einzelne DLLs zu integrieren).

Neben den derzeit eingesetzten Produkten umfasst die Liste darüber hinaus idealerweise aber auch Produkte, die in der Vergangenheit eingesetzt wurden (bis zu einem bestimmten Grad – siehe dazu Abschnitt 0 „Bestehende Einträge entfernen“). Weiterhin enthält sie Produkte, die noch nicht eingesetzt, zu denen aber bereits Entscheidungen getroffen wurden. Somit umfasst die SW-Produktliste:

- Softwareprodukte, die in der Vergangenheit eingesetzt wurden
- Softwareprodukte, die derzeit eingesetzt werden
- Softwareprodukte, zu denen entschieden wurde, dass sie zukünftig eingesetzt werden sollen / nicht eingesetzt werden sollen

Bei der Frage nach neu einzuführender Software kann somit schnell eruiert werden, ob die zur Diskussion stehende Software bereits eingesetzt wird, eingesetzt wurde oder bereits eine Entscheidung zu diesem Produkt vorliegt.

Gruppierung der Elemente

Die Gruppierung der Softwareprodukte nach Nutzungskontext erleichtert das Finden von Softwareprodukten. Dies beschleunigt sowohl die Beantwortung von Kundenanfragen nach Softwareprodukten durch den Service Desk, als auch die Suche nach Produkten im Rahmen der Gestaltung neuer Eigenentwicklungen. Die Gruppen sind so gewählt, dass Produkte mit gleichartigem Zweck zusammengefasst werden.



Abb. 1: Gruppierung der Softwareprodukte nach Nutzungskontext

Jedes Softwareprodukt wird einer oder mehrerer dieser 19 Nutzungskontexte zugeordnet. Ist zu einem Produkt keine Gruppe zuordenbar, so wird „sonstiges“ ausgewählt. Die Produkte in der Gruppe „sonstiges“ sollen regelmäßig überprüft werden, um ggf. weitere Gruppen zu identifizieren bzw. die aktuellen Gruppen zu überarbeiten. Ziel ist es, möglichst wenige Produkte in der Gruppe sonstiges zu führen und gleichzeitig die Anzahl der Gruppen überschaubar zu halten. Die Einteilung aller Produkte nach diesen 19 Nutzungskontexten ist recht grob und dient lediglich einer ersten Orientierung. Der Nutzungskontext eines jeden Produktes wird durch das Attribut „Funktionale Beschreibung“ individuell detailliert, um auch innerhalb einer Gruppe die Unterschiede einzelner Produkte besser erkennbar zu machen (siehe nächster Abschnitt).

Aufbau

Die folgende Tabelle gibt einen Eindruck des Aufbaus einer Softwareproduktliste:

Produktname	**Hersteller**	**Funktionale Beschreibung**	**Derzeit eingesetzt**	**SW-Produktmanager**	**Freigabeklasse**	**Erläuterung**
Nutzungskontext A						
Produkt 1	Abc AG	<Frei-text>	Ja / Nein	Mitarbeitername	Black / Grey / White	Nähere Beschreibung, wofür und wo das Produkt eingesetzt werden kann
Produkt 2	Def KG	<Frei-text>	Ja / Nein	Mitarbeitername	Black / Grey / White	Nähere Beschreibung, wofür und wo das Produkt eingesetzt werden kann
Nutzungskontext B						
Produkt 3	Ghi OHG	<Frei-text>	Ja / Nein	Mitarbeitername	Black / Grey / White	Nähere Beschreibung, wofür und wo das Produkt eingesetzt werden kann
…	…	…	…	…	…	…

Tab. 1: Schematisches Beispiel einer Softwareproduktliste

Im Folgenden werden die einzelnen Attribute und Ausprägungen näher beschrieben:

Produktname: Name des Softwareproduktes. Hier gilt die offizielle Bezeichnung des Herstellers. D. h. die Firma wird im Produktnamen mitgeführt, wenn der Hersteller selbst das Produkt so bezeichnet.

Hersteller: Hersteller des Produktes. Die Rechtsform muss nicht zwingend mitgeführt werden. Bei kleineren Firmen ist dies aber oft sinnvoll. Diese Angabe sollte nicht mit dem Lieferanten verwechselt werden, der eher für den Einkauf eine Rolle spielt.

Funktionale Beschreibung: Freitext (max. 300 Zeichen) zur Beschreibung, wofür das Produkt genutzt wird. Dies wird sich oft mit dem allgemeinen Produktumfang decken. Ist dies nicht der Fall, soll lediglich die spezifische Verwendung beschrieben werden.

Derzeit eingesetzt: Ein Produkt wird eingesetzt, wenn es installiert ist und genutzt wird (das bloße Vorhandensein z. B. in der CMDB reicht nicht aus).

SW-Produktmanager: Vor- und Nachname eines Mitarbeiters der den gesamten Lebenszyklus des Produktes verwaltet. D. h. er erledigt nicht alle Aufgaben in den Phasen

des Produktlebens selbst und muss auch nicht alle Fragen zu dem Produkt beantworten können, sondern er kennt die jeweiligen Spezialisten (z. B. Nutzer, Betriebler, Beschaffer), verbindet diese bei Bedarf und gewährleistet eine übergreifende Lösung von Problemen. Des weiteren ist er verantwortlich für ein reibungsloses Einführen neuer oder das Ablösen/Außerbetriebnehmen bestehender Softwareprodukte.

Freigabeklasse: Hier wird festgehalten, inwiefern das Produkt eingesetzt werden darf. „Black" bedeutet, dass das Produkt nicht verwendet werden darf. Alle noch vorhandenen Verwendungen müssen schnellstmöglich entfernt werden. Im Feld Erläuterung können Gründe oder getroffene Entscheidungen angegeben werden. „Grey" bedeutet, dass das Produkt in seinem derzeitigen Einsatzkontext weiterhin genutzt werden kann, für neue Kontexte aber nicht mehr verwendet werden darf (d. h. Client-Software darf nicht mehr für neue Nutzer verteilt werden, Server-Software darf nicht mehr als Technologie bei neuen Individualentwicklungen verwendet werden). Zu diesen Produkten kann es weitergehende Einschränkungen geben, die dann im Feld „Erläuterung" kenntlich gemacht werden. „White" bedeutet, dass das Produkt genutzt werden darf.

Erläuterung: Freitext zur näheren Erläuterung von Produkten der Kategorisierung „Grey". Hier kann näher beschrieben werden, wo (z. B. „darf nur in der Fachdomäne xyz genutzt werden") oder wofür (z. B. „nur für PDF-Viewing, nicht zur PDF-Erstellung") das Produkt genutzt / nicht genutzt werden darf.

Wenn ein Softwaerprodukt in der Organisation nicht mehr eingesetzt wird, so wird der Listeneintrag von derzeit eingesetzt = JA auf derzeit eingesetzt = NEIN geändert. Gleichzeitig wird der Softwareproduktmanager für diesen Eintrag entfernt. Sicher wäre es hilfreich, bestehende Wissensträger von ausgemusterten SW-Produkten zu pflegen (z. B. für zukünftige Beschaffungsanfragen zu diesem Produkt). Jedoch kann einem Mitarbeiter, der das Produkt selbst nicht mehr verwendet, nicht zugemutet werden, alle Produktanfragen zu beantworten. Darüber hinaus wird das Produkt vermutlich aufgrund besserer Alternativen oder von strategischen Entscheidungen abgelöst worden sein, was das Pflegen von Wissensträgern unnötig macht. Alle anderen Angaben zu diesem Produkt bleiben in der Liste im derzeitigen Zustand erhalten (letzter Zustand wird eingefroren). Somit ist für zukünftige Interessenten ersichtlich, dass ein Produkt in der Vergangenheit im Einsatz war und eventuell ist in den Erläuterungen auch eine Begründung gegeben, warum das Produkt nicht mehr eingesetzt werden soll.

2.2 Systematische Aktualisierung der Softwareproduktliste

Die Softwareproduktliste muss jederzeit auf einem aktuellen Stand sein. D. h. neue, veränderte und abgeschaltete Produkte müssen in der Softwareproduktliste berücksichtigt werden. Ein regelmäßiger Abgleich mit Systemen z. B. CMDB, SW-Freigabe-Systeme, SW-Paketierung reicht meist nicht aus, da diese Produkte nicht unbedingt auch eingesetzt (d. h. installiert und genutzt) werden. Darüber hinaus werden kostenfreie Produkte nicht immer über diese Systeme zum Einsatz / zur Installation gebracht. Eine systematische Aktualisierung der Softwareproduktliste kann nur in Zusammenarbeit unterschiedlicher

Organisationseinheiten und unter Mitarbeit aller Softwareproduktmanager gewährleistet werden.

Es existieren unterschiedliche Auslöser zur Aktualisierung der SW-Produktliste, die an unterschiedlichen Stellen innerhalb der Organisation bemerkt werden. Im Folgenden werden die Auslöser, Aktivitäten und Rollen[2] aufgezeigt und erläutert.

Neuen Eintrag hinzufügen

Folgende Auslöser für einen neuen Eintrag in der Softwareproduktliste kommen in Betracht:

- Ein Mitarbeiter hat Bedarf nach neuer / weitergehender IT-Unterstützung
- Durch eine strategische Entscheidung wird festgelegt, dass ein neues Produkt eingesetzt werden soll (zumeist als Ablösung eines oder mehrerer anderer Produkte)

Der erste Auslöser entsteht wegen fehlender IT-Unterstützung. Dieser Bedarf kann entweder bei einem Kunden der Fachseite bestehen oder bei einem Mitarbeiter der IT-Abteilung.

Kundenanfragen der Fachseite werden meist über den Service-Desk bearbeitet. Die Softwareproduktliste bietet für den Service-Desk Unterstützung. Mithilfe der Liste kann identifiziert werden, ob das angefragte Produkt bereits eingesetzt und somit lediglich weiterverteilt werden muss. Wenn das angefragte Produkt nicht enthalten ist, kann der Service-Desk nach eigener Einschätzung ähnliche Produkte (z. B. gleicher Nutzungskontext mit ähnlicher Funktionsbeschreibung) dem Kunden anbieten und einen Ansprechpartner (den IT-Softwareproduktmanager) zu dem Produkt benennen. Der Kunde kann daraufhin direkt mit dem Produktmanager klären, ob das Produkt zu seinen Anforderungen passt. Kommt kein Produkt der Liste infrage, so leitet der Service-Desk die Anfrage zur weiteren Bearbeitung an den zuständigen Bereich der IT-Abteilung weiter. In gemeinsamer Abstimmung mit dem Kunden werden dann die Anforderungen und Umsetzungsmöglichkeiten geklärt. In diesem Schritt muss das neue Produkt auch aus Architektursicht bewertet werden (ob z. B. eine black oder grey-Klassifizierung vorliegt – siehe dazu Abschnitt 4). Ist ein Produkt gefunden worden, wird für das neue Produkt ein SW-Produktmanager benannt und ein neuer Eintrag in der SW-Produktliste angelegt.

Besteht der Bedarf nach neuer Software bei einem Mitarbeiter der IT-Abteilung, so bietet auch ihm die Softwareproduktliste Unterstützung. Er kann selbstständig prüfen, ob konkrete Produkte zu seinem Bedarf passen bzw. ähnliche Produkte bereits eingesetzt werden. Auch in der Vergangenheit eingesetzte Produkte sind aufgeführt, ggf. inklusive einer Bemerkung, wie mit dem Produkt umzugehen ist (z. B. darf nicht mehr eingesetzt werden).

Der zweite o. g. Auslöser für das Hinzufügen eines neuen Listeneintrags – eine strategische Entscheidung zum Einsatz eines neuen Produktes. Hier muss zunächst ein

[2] Zur einfacheren Lesbarkeit werden alle Rollenbezeichnungen ausschließlich in der maskulinen Form verwendet.

Softwareproduktmanager gefunden werden. Dieser hat die Aufgabe, für die Einführung des neuen Produktes zu sorgen. Dabei muss auch eine Abstimmung mit anderen Produktmanagern geschehen, z. B. wenn das neue Produkt andere Produkte ablösen soll. Es wird ein neuer Eintrag in der SW-Produktliste mit dem benannten SW-Produktmanager angelegt. Das Produkt wird zunächst als „nicht eingesetzt" gekennzeichnet. Abhängige Einträge der SW-Produktliste werden ggf. geändert (siehe folgender Abschnitt).

Bestehenden Eintrag ändern

Folgende Auslöser für die Änderung eines Eintrags der Softwareproduktliste kommen in Betracht:

- Der Produktname ändert sich.
- Die Firma ändert sich.
- Die funktionale Beschreibung muss geändert werden.
- Ein derzeit eingesetztes Produkt wird nicht mehr eingesetzt bzw. ein nicht (mehr) eingesetztes Produkt wird (wieder) eingesetzt.
- Die Rolle des Softwareproduktmanagers geht auf einen anderen Mitarbeiter über.
- Eine (strategische) Entscheidung zu einem Produkt wird getroffen.

Bis auf den letzten Auslöser können alle Auslöser am Einfachsten vom Softwareproduktmanager identifiziert werden. Wurde eine Änderung registriert, so meldet er dies formlos an den EAM-Bereich, der daraufhin die Liste aktualisiert.

Bei getroffenen (strategischen) Entscheidungen zu einem Produkt informieren die Entscheider den EAM-Bereich und den Softwareproduktmanager. Daraufhin wird diese Entscheidung an dem betroffenen Produkt festgehalten (siehe Attribute „Freigabeklasse" und „Erläuterung" in Abschnitt **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**).

Bestehenden Eintrag entfernen

Nicht mehr verwendete Produkte (d. h. nicht mehr genutzt, nicht mehr installiert), werden aus der SW-Produktliste nicht entfernt, sondern das zugehörige Attribut wird lediglich auf „nicht eingesetzt" gestellt und der Softwareproduktmanager wird entfernt (Verantwortung endet und Listeneintrag ist somit „eingefroren"). Ein bestehender Eintrag wird nur dann aus der Softwareproduktliste entfernt, wenn das Produkt nicht mehr eingesetzt wird und es am Markt auch nicht mehr erhältlich ist – d. h. auch zukünftig nicht mehr eingesetzt werden kann.

Einträge zu „eingefrorenen" Produkten werden nicht mehr aktualisiert, da es keine Softwareproduktmanager dazu gibt. „Eingefrorene Produkte" werden jedoch im Rahmen der regelmäßigen Aktualisierung berücksichtigt (siehe folgender Abschnitt).

2.3 Regelmäßige Aktualisierung der kompletten Liste

Es ist nicht immer sichergestellt, dass alle Änderungen im Zusammenhang mit Softwareprodukten auch in der Softwareproduktliste eingetragen werden (z. B. Softwareproduktmanager bemerkt die Namensänderung eines Produktes nicht). Deshalb muss es zusätzlich eine regelmäßige Prüfung auf Aktualität der Liste geben. Dazu werden zwei Mal im Jahr alle Softwareproduktmanager gebeten, „ihre“ Einträge in der Softwareproduktliste zu prüfen und eventuell aufgetretene Änderungen an den EAM-Bereich mitzuteilen. Die Softwareproduktliste wird daraufhin entsprechend aktualisiert. Der EAM-Bereich stellt, falls relevant, bei gemeldeten Änderungen die Weitergabe von Informationen an andere Organisationseinheiten sicher (z. B. Benachrichtigung der IT-Beschaffung, der Softwarepaketierung, der Softwarefreigabe, usw.). Somit wird gewährleistet, dass Änderungen an allen relevanten Stellen in der Organisation berücksichtigt werden.

Da die Softwareproduktliste auch Produkte enthält, die nicht eingesetzt werden und diese Einträge keinen Softwareproduktmanager zugewiesen haben („eingefrorene Einträge), muss deren Aktualität ebenfalls kontrolliert werden. Dies ist Aufgabe des EAM-Bereichs.

3 Leichtgewichtige SW-Produkt-Governance

Bei der Einführung neuer SW-Produkte muss aus Sicht des EAM die Konformität zur bestehenden IT-Landschaft untersucht werden. Die neue Lösung soll sich möglichst gut in die Anwendungslandschaft integrieren und zum gewünschten Technologieportfolio passen. Zu diesem Zweck ist der EAM-Bereich idealerweise direkt bei der gemeinsamen Anforderungsklärung und Lösungssuche beteiligt. Da die EAM-Organisation aber oftmals aus sehr wenigen Mitarbeitern besteht und somit nicht bei allen neu zu bewertenden Lösungen dabei sein kann, hat sich die Etablierung einer Art Fragebogen bewährt.

Auf zwei Seiten mit vorgefertigten Fragen wird dabei die Architektur des potenziell einzuführenden SW-Produktes beleuchtet:

Attribut	**Ausprägung**
Name des SW-Produktes	
Name des **Herstellers**	
Name des künftigen **Softwareproduktmanagers**	
Aktuellste Version am Markt	
Änderungshäufigkeit (Versionswechsel, Patches)	
Einzusetzende Version (Begründung, wenn	

Abweichung zu aktuellster Version)	
Erscheinungsjahr des Produktes am Markt	
Lizenzmodell (ggf. Bezeichnung der freien Lizenz)	
Funktionale Beschreibung (wozu soll das Produkt genutzt werden, warum sind bestehende Produkte nicht ausreichend?)	
Für welche **Fachdomäne(n)** soll es eingesetzt werden? (Betroffene Organisationseinheiten / Geschäftsprozesse)	
Client-Server-Architektur (Nur Client, nur Server oder beides, wie kommunizieren Client und Server?)	
Welche **Client-Technologien** müssen bereitgestellt werden (Browser, Laufzeitumgebung, weitere SW-Produkte)	
Welche **Middleware / Technische Plattform** wird benötigt? (Application-Server, Laufzeitumgebung, Message Queuing, ...)	
Wie erfolgt die **Integration** in die IT-Landschaft (welche **Schnittstellen** zu welchen anderen Systemen werden existieren, d. h. Schnittstellenart, synchron/asynchron, Einzelsatz- / Massendatenverarbeitung)? Welche **Informationsobjekte (Geschäftsobjekte)** werden konsumiert bzw. produziert? Welche Dateiformate werden beim Austausch genutzt?	
Wie werden die Daten **persistiert** (z. B. rel. Datenbank, Filesystem)? Wenn separate **Datenbank**, welche Art, welche Version?	
Welche **Betriebsarchitektur** wird benötigt? (Welche Hardware, welches Betriebssystem, Virtualisierung)	
Welche Organisationseinheiten übernehmen die **Betriebsverantwortung** für Middleware und Datenbank?	
Welches **Mengengerüst und welche nicht-funktionalen Anforderungen** bestehen (Anzahl User, parallele User, Transaktionen pro Tag, Service-Zeiten, max. Ausfallzeit, max. Datenverlust, Antwortzeitverhalten,	

Batchbetriebszeiten, Anzahl Batch-Jobs)?	
Wie soll das Produkt **bereitgestellt / verteilt** werden? (Manuelle Verteilung von Dateien, Manuelle Installation, Paketierung)	
Wie wird das **Rechte- /Rollenkonzept** gestaltet?	

Tab. 2: Fragenkatalog zur Einschätzung Architekturkonformität neuer SW-Produkte

Auf Grundlage dieser Angaben kann eine erste Einschätzung der Architekturkonformität erfolgen. Je nach Komplexität des einzuführenden Produktes kann dieser Fragebogen natürlich zu Umfangreich oder aber auch als zu oberflächlich angesehen werden, sodass bei komplexen Produkten natürlich eine tiefergehende Analyse angestrebt werden muss. Mithilfe eines solchen Fragebogens lassen sich die Produktanfragen aber sehr gut initial abschätzen, um dann bedarfsgerecht weiter zu verfahren.

Literaturverzeichnis

[TOG11] The Open Group: The Open Group Architecture Framework (TOGAF) Version 9.1. The Open Group, ISBN: 978-90-8753-679-4, 2011

[Ahl12] Ahlemann, F.; Stettiner, E.; Messerschmidt, M.; Legner, C. (Eds.): Strategic Enterprise Architecture Management. Challenges, Best Practices, and Future Developments. Springer, Heidelberg, 2017.

[CD17] Czarnecki, C.; Dietze, C.: Reference Architecture for the Telecommunications Industry: Transformation of Strategy, Organization, Processes, Data, and Applications. Springer, Heidelberg, 2017.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 2107

Der digitale Architekt – Methodenansatz zur Unterstützung der digitalen Innovation und Transformation

Matthias Wißotzki[1]

Abstract: Die Digitalisierung ist derzeit der wichtigste Grundbaustein wirtschaftlichen Wachstums. Moderne Unternehmen müssen aufgrund der zunehmenden digitalen Vernetzung, immer smarterer Automatisierungsmöglichkeiten, omnipräsenter Zugangstechnologien sowie dynamischen Kundenanforderungen zunehmend über ergänzende und neue digitale Geschäftsmodelle nachdenken. In diesem Zusammenhang beschäftigt sich Wissenschaft und Praxis verstärkt mit der Aufbereitung und Konzeptualisierung des Themas, um Potenziale für neue insbesondere digitale Geschäftsmodelle schneller nutzen und die sich daraus ergebenen Herausforderungen besser bewältigen zu können. Dafür ist eine fachliche Integration verschiedener Disziplinen notwendig. Die Zusammenführung ausgewählter Ansätze aus den Bereichen der digitalen Geschäftsmodellentwicklung, des Fähigkeiten- und Unternehmensarchitekturmanagements dienen als vorgehensmethodische Grundlage für ein Ausbildungsprofil, welches im Rahmen dieser Arbeit vorgestellt werden soll.

Keywords: Digital Business Modeling, Capability Management, Enterprise Modeling, Enterprise Architecture Management, Digital Business Architect, Small and medium Business

1 Einleitung

Die erfolgreiche Entwicklung und Integration digitaler Geschäftsmodelle erfordert ein hohes Maß an Agilität, welche nur dann ökonomisch gegeben ist, wenn die Auswirkungen von Veränderungen im Unternehmen oder die Entwicklung neuer Unternehmen zu jedem Zeitpunkt bestimmt werden können [Wi16b, Wi17]. Die automatische Anpassung von Geschäftsmodellen, welche auf Basis von Analysen großer Datenmengen, die zuvor von Sensoren in physischen und virtuellen Umgebungen gesammelt wurden, stellt nur einen Anwendungsfall dar, welcher die bestehende Komplexität eines Unternehmens erhöhen kann. In diesem Zusammenhang beschäftigt sich Wissenschaft und Praxis verstärkt mit der Aufbereitung und Konzeptualisierung dieser Themen, um Potenziale für neue insbesondere digitale Geschäftsmodelle schneller nutzen und die sich daraus ergebenen Herausforderungen besser bewältigen zu können. Dafür ist eine fachliche Zusammenführung ausgewählter Ansätze aus den Bereichen der digitalen Geschäftsmodellentwicklung, des Fähigkeiten- und Unternehmensarchitekturmanagements notwendig [Wi17].

Die Integration dieser Themen prägen das neue Anforderungsprofil eines modernen Unternehmensgestalters [Wi17, LB15a], welchen wir als „Digital Business Architect“

[1] Universität Rostock, IEF, Albert Einstein-Str. 22, 18059 Rostock, matthias.wissotzki@uni-rostock.de

doi:10.18420/in2017_210

(DBA) bezeichnen. Der DBA soll mit einem multidisziplinären Fachwissen und einem entsprechenden Vorgehen ausgestattet werden. Insbesondere das Vorgehen befähigt den DBA alt Teil der Geschäftsführung bzw. zwischen Geschäftsführung und Technologieexperten zu vermitteln und deren Anforderungen unter Berücksichtigung eines integrativem Business-IT-Alignment (iBITA) umzusetzen [Wi17]. Erfahrungen aus verschiedenen Digitalisierungsprojekten machten uns auf den industriellen Bedarf an diesem Rollen- und Ausbildungsprofil aufmerksam [Wi17, WKS15]. Das neue Profil soll Mitarbeiter und Studierende nicht nur dazu befähigen, digitale Geschäftsmodelle zu entwickeln, sondern auch die Planung und Umsetzung mit Hilfe passender Methoden vorzunehmen bzw. dabei maßgeblich zu unterstützen. Der Forschungsbedarf für das benötigte Vorgehensmodell ergab sich aus den Ergebnissen der Dissertation [Wi17]. Die erste Version des Vorgehens durchläuft derzeit eine Evaluation im Rahmen einer Masterarbeit an der Universität Rostock [Pl17].

Nach der Einleitung in Kapitel 1 wird in Kapitel 2 die zur Datenerhebung und Auswertung verwendete Forschungsmethodik aufgezeigt. Anschließend werden in Kapitel 3 die Grundlagen für den Digitalen Innovations- und Transformationsprozess (DITP) sowie in Kapitel 4 die dafür notwendigen Methoden vorgestellt. Die Kernaktivitäten des DITP werden in Kapitel 5 erläutert. Eine Zusammenfassung der Ergebnisse und ein Ausblick auf weitere Forschungsaktivitäten werden im letzten Kapitel gegeben.

2 Forschungsansatz

Zur Ausarbeitung der theoretischen Grundlagen wurde eine Literaturanalyse durchgeführt. Hierbei finden in der Regel zwei Verfahren Anwendung: Die „systematische Methode“ [Ki04] und die Methode der konzentrischen Kreise [Sa13, Wo14], wobei für diese Arbeit das zweite Verfahren als Grundlage für die Literaturrecherche genutzt wurde. Das Vorgehen sollte gewährleisten, dass sowohl wissenschaftliche als auch journalistische Veröffentlichungen erfasst werden. Zur ersten Evaluation des Vorgehens wurde ein konkreter Anwendungsfall im Rahmen einer Fallstudie betrachtet [WH06, Yi13]. Die Fallstudie wurde im Zusammenhang einer Masterarbeit an der Universität Rostock durchgeführt [Pl17]. Ziel der Fallstudie war es, Version 1 des vorgeschlagenen Vorgehens des DBA innerhalb eines Start-Ups zu beobachten und mit Hilfe einer argumentativ-deduktiven Analyse neue Erkenntnisse zur Verbesserung der Praktikabilität des Vorgehens abzuleiten [Gö03, Vr07, Yi13].

Die Durchführung ist in Anlehnung an [Gö03] bearbeitet worden und besteht aus den Prozessschritten Planung, Datenerhebung, Analyse und Bericht (Abbildung 1).



Abb. 1: Prozess Durchführung einer Fallstudie in Anlehnung an Göthlich [Gö03]

In der *Planungsphase* fiel die Entscheidung für das Design der Studie sowie für die Zielstellung, welche wie folgt definiert wurde:

- *Exploratives-Ziel*: Mit Hilfe der Beobachtungen und Dokumentationen sollen Erkenntnisse erlangt und Optimierungspotential des DBA-Vorgehens identifiziert werden.
- *Evaluierungsziel:* Die Fallstudie dient zur Validierung des Vorgehens in der Praxis, explizit unter Berücksichtigung eines in Kapitel 4 vorgestellten Szenarios.

Während der *Datenerhebung* werden Informationen, welche in der Planungsphase festgelegt wurden, fortlaufend dokumentiert. Dazu wurden Erhebungsformen wie Interviews, Dokumentation (Protokollierung) und Beobachtungen eingesetzt [DP03]. In der *Analyse* wurden Ergebnisse über die in der Planungsphase gestellten Hypothesen und Forschungsfragen gesammelt. Dabei wurde die Machbarkeit des DBA Ansatzes (Szenario 2) getestet und Verbesserungen des Prozesses aufzeigt. Mit der Veröffentlichung der Ergebnisse in einem *Bericht* ist die Durchführung der Fallstudie beendet. Der Bericht kann separat oder, wie vorliegend, als Teil weiterer Untersuchungen veröffentlicht werden [Gö03].

3 Grundlagen

Grundvoraussetzung für einen DBA ist das Wissen um die Anatomie von Geschäftsmodellen, die für die Anpassung bzw. Neugestaltung notwendigen Fähigkeiten und die davon betroffenen Strukturen innerhalb und außerhalb des Unternehmens (z.B. Prozesse, IT Systeme, Rollen). Um diese Voraussetzung zu schaffen und verwalten zu können, bedarf es einer Reihe von Techniken, Methoden und Werkzeugen, welche als Bestandteil neuer Managementansätze etablierte Disziplinen ergänzen. Dies bedeutet, dass auch hier Unternehmen hinsichtlich etablierter Managementansätze umdenken und aufrüsten müssen, um sich schneller in einem digitalen Umfeld verändern zu können.

Für eine erfolgreiche digitale Transformation und das fachübergreifende Vorgehen sind Kenntnisse in drei Disziplinen notwendig. Geschäftsmodellmanagement (GMM) [Sc13, Sc16b, Sc16a, Ho15, Wi16a], Fähigkeitenmanagement (FM) [Wi17, An14, Wi17] und Unternehmensarchitekturmanagement (UAM) [Ah12, SFS14, SS15, SW17], welche über ihre jeweiligen Outputs in Form von Modellen miteinander in Verbindung gebracht werden und Unternehmen bei der:

- Erarbeitung und Dokumentation der aktuellen *Unternehmenssituation* bestehend aus Geschäftsmodell und die dafür notwendigen Architekturobjekte wie Abläufe, Strukturen und Produkte,
- *Analyse digitaler Potenziale* zur Ergänzung bzw. Erneuerung der Wertschöpfung,
- Erarbeitung und *Konkretisierung der Unternehmensstrategie* zur Umsetzung digitaler Zielstellungen sowie Ableitung der dafür notwendigen Unternehmensfähigkeiten,
- *Ermittlung des Veränderungsbedarfs* sowie Planung der für die digitale Transformation benötigten Architekturen.
- u.v.m.

unterstützen.

Der in dieser Arbeit vorgestellte Ansatz soll für das Tätigkeitsprofil des DBAs die methodische Grundlage schaffen. Dabei konzentrieren sich die Inhalte auf die fachübergreifende Verwendung dieser einzelnen Managementansätze (GMM, FM, UAM) innerhalb eines dafür entwickelten Vorgehensmodells (Abbildung 2).

4 Methodenspektrum und Szenarien

Dieses Kapitel zeigt das Zusammenspiel der Disziplinen und liefert Übersichten sowie Vergleichskriterien zu den unterschiedlichen Methoden der Disziplinen. Diese Vergleichskriterien liefern Anhaltspunkte für den Einsatz fachspezifischer Methoden in bestimmten Szenarien digitaler Transformation und somit eine der Handlungsgrundlagen des DBA.

Für die Entwicklung von Geschäftsmodellen und dem Unternehmensarchitekturmanagement gibt es bereits Fach- und Lehrbücher, welche Methoden und Werkzeuge bereitstellen [Sc13, LB15b, Wi16a, OP13, SW17]. Auf dem Gebiet des Fähigkeiten-Management (Capability Management), welches als Bindeglied zwischen den Disziplinen dienen soll, gibt es bereits zahlreiche Ansätze, jedoch noch bisher nur einen integrativen Ansatz, welcher dieses Thema aufgreift [Wi17]. Ein übergeordnetes Vorgehen für die integrative Nutzung der einzelnen Disziplinen in Form eines Vorgehensmodells steht bisher nicht zur Verfügung [Pl17]. Ein besonderes Merkmal des hier vorgestellten Ansatzes ist, dass das Zusammenspiel der zur Verfügung stehenden Methoden der jeweiligen Disziplinen unter Berücksichtigung einer möglichst bedarfsgerechte Auswahl im Mittelpunkt steht.

Anhand der folgenden drei Szenarien soll das Vorgehen und die integrative Nutzung der verschiedenen Disziplinen beispielhaft dargestellt und somit auch eine Vorstellung zu

den unterschiedlichen Einsatzmöglichkeiten des DBAs aufgezeigt werden:

1. Das erste Szenario beschreibt die Situation eines bestehenden Unternehmens, welches durch die Digitalisierung vor neuen produktbedingten, kundenbedingten und/oder wettbewerbsbedingten Herausforderungen steht und auf diese unmittelbar reagieren muss.

2. Im zweiten Szenario wird die Vorgehensweise bei der Umsetzung einer Geschäftsidee im Rahmen eines Start-Ups beschrieben.

3. Szenario drei schildert eine Unternehmenssituation, in welcher kein zwingender Handlungsbedarf hinsichtlich einer digitalen Transformation besteht, jedoch ein Bestreben des Unternehmens, digitale Potenziale zu erörtern und auf das eigene Geschäft zu übertragen, um dieses zu ergänzen oder zu erweitern.

Das Vorgehen ist nicht nur ein wirksames Mittel, um geschäftsmodell- und architekturbedingte Problemstellungen zu behandeln, sondern unterstützt gleichermaßen die Verbesserung der Kommunikation sowie das Wissen über das Unternehmen. Abbildung 2 zeigt den gesamten digitalen Innovations- und Transformationsprozess (DITP) sowie die vom DBA benötigten Fachdisziplinen der einzelnen Prozessschritte.

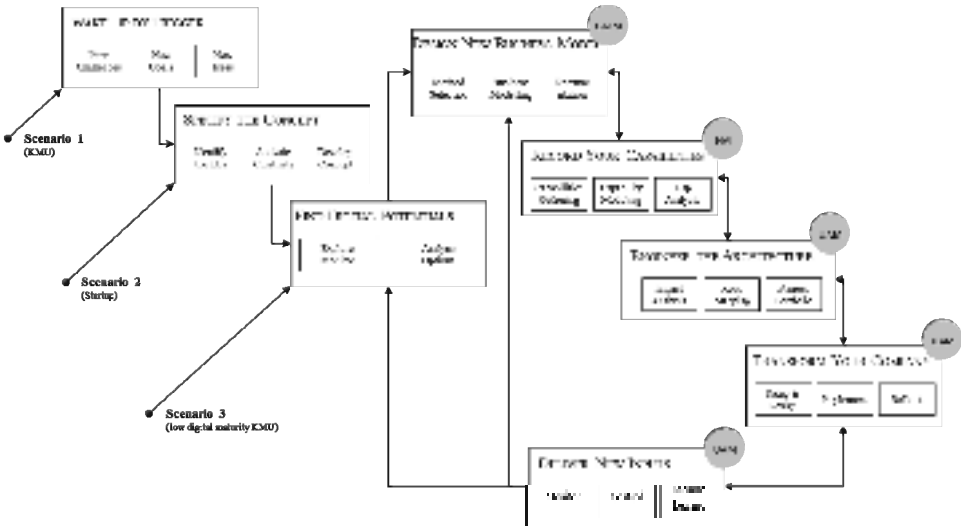


Abb. 2: Der digitale Innovations- und Transformationsprozess mit den benötigten Fachdisziplinen

5 Vorgehen des DBA

Dieses Kapitel beschreibt das Vorgehen des DITPs sowie die Kompetenzschwerpunkte des DBAs, welche für die Entwicklung und Umsetzung digitaler Geschäftsmodelle notwendig sind. Als Grundlage für dessen Anwendung wurden drei typische Unternehmenssituationen ausgewählt (Kapitel 4), welche verschiede Einstiegspunkte für das Vorgehen bilden. Im Rahmen dieser Arbeit werden wir uns hauptsächlich auf Aspekte des zweiten Szenarios beziehen, da bisher nur dieser Anwendungsfall genauer untersucht werden konnte (Kapitel 2). Die in diesem Zusammenhang durchgeführte Fallstudie begleitete die Umsetzung einer digitalen Geschäftsidee, welche mit Hilfe des DBA Vorgehens im Rahmen einer Unternehmensgründung unterstützt werden sollte.

Einstiegspunkt für Szenario 2 ist die so genannte ***„Specify the Concept“*** Phase in welcher eine vorhandene Idee mit Hilfe von Kreativmethoden ausgearbeitet wird. Die Ausgangsidee muss zu diesem Zeitpunkt noch nicht grundlegend definiert, verfeinert oder ausgearbeitet sein, sollte jedoch einen klaren Geschäftsbezug haben. Bei der Ausarbeitung wird sich an einem Ideenprozess orientiert, welcher dabei unterstützt u.a. interne/externe Faktoren, Anforderungen und Umsetzungsansätze zu identifizieren und zu formulieren. Der Prozess ist unterteilt in vier Aktivitäten: *DITP1.1 Identifikation der Idee, DITP1.2 Aktivierungsmethodik, DITP1.3 Ausarbeitung des Konzeptes*. Zur methodischen Sicherstellung einer gemeinsamen Ausgangsbasis werden die Aktivitäten zur Ausarbeitung der Gründungsidee von allen Gründern durchgeführt. Die Kompetenz des DBAs besteht darin, dass er mit Hilfe von Kreativmethoden, welche er aus über 60 Ansätzen bedarfsgerecht auswählt und Ideen methodenbasierend zu einem Konzept verfeinert. Das Ergebnis dieser Phase ist ein umfassend dokumentiertes Geschäftskonzept.

Der Prozessschritt ***„Find Digital Potentials“*** beschäftigt sich mit der Analyse von digitalen Trends bzw. Bausteinen und unterstützt die Suche nach möglichen digitalen Ansätzen, welche für das Geschäftskonzept relevant sein könnten. Diese Phase ist in die Aktivitäten *DITP2.1 Recherche digitaler Trends/Bausteine, DITP2.2 Auswertung digitaler Trends/Bausteine* unterteilt. Auf Basis des dokumentierten Geschäftskonzeptes lassen sich nun mit Hilfe der ersten Aktivität verschiedene Datenquellen auf digitale Trends/ Bausteine recherchieren wie zum Beispiel *Gartner Hype Cycle* [Ga16], *Technology Radar* [Th17], *TechTrends* [De17] und *Producthunt* [Pr17]. Aber auch digitale Technologiebausteine wie z.B. *Automatisierung* (Robotik, Adaptive Fertigung, Autonome Fahrzeuge), *Digitale Zugänge* (Soziale Netzwerke, Mobilität, Apps, Marktplätze, Gesten- & Sprachdteuerung) *Vernetzung und Austausch* (Breitband, Mobiles Internet, IoT, Industrie 4.0, Cloud), *Künstliche Intelligenz* (Smart Cities & Homes, Agenten & Bots, Machine Learning), *Daten* (Big Data, Blockchain, Predictive Maintenance), *User Experiences* (Wearables, Virtual Reality, kontextbezogene Individualisierung) liefern mögliche Ansatzpunkte für digitale Bausteine zur Ideenumsetzung.

Die Vorauswahl potenzieller digitaler Trends/Bausteine für die

Geschäftsmodellentwicklung in der nächsten Phase erfolgt über Merkmals- und Prioritätsevaluationen der beteiligten Gründer. Ab dem Zeitpunkt, wo ein Trend/Baustein endgültig auf der Liste der evaluierten und geeigneten Kandidaten für das Geschäftskonzept landet, wird von einem digitalen Potential gesprochen, denn es besitzt aus Sicht des Gründungsteams das Potential, die Geschäftsidee zu ermöglichen bzw. zu ergänzen. Diese Phase ist ebenfalls von allen Gründern durchzuführen. Es ist empfehlenswert, aber nicht zwingend erforderlich technologieaffine Teammitglieder zu beteiligen. In dieser Phase unterstützt der DBA bei der Recherche digitaler Trends/ Bausteinen und gibt Empfehlungen für den Einsatz in möglichen Anwendungsszenarien. Das Ergebnis dieser Phase ist eine Technologielandkarte mit geeigneten digitalen Potenzialen, welche im Rahmen der Geschäftsmodellentwicklung berücksichtigt werden sollen. Die Passgenauigkeit dieser Landkarte wird zu späteren Zeitpunkten genauer spezifiziert.

Die dritte Phase beschäftigt sich mit der Modellierung des Geschäftsmodells ***„Design New Business Model“***. Um eine Modellierung durchzuführen, können je nach persönlichen Präferenzen und Anforderungen an das Projekt verschiedene Ansätze genutzt werden [Sc13, OP13, Ho15, Wi16a]. Dafür sind folgende Aktivitäten durchzuführen: *DITP3.1 Auswahl Geschäftsmodellierungsansatz, DITP3.2 Modellierung des Geschäftsmodells, DITP3.3 Visualisierung Geschäftsmodells & Dokumentation*. Für Szenario 2 wurde eine der umfangreichsten und detailliertesten Ansätze für die detaillierte Entwicklung von Geschäftsmodellen, die Geschäftsmodellinnovation-Methode nach [Sc13], gewählt. Der Ansatz überzeugte das Gründerteam durch die umfangreiche methodische Unterstützung (Metamodell, Fragenkataloge, Beispiele) zu den einzelnen Phasen der Geschäftsmodellentwicklung. Die grafische Darstellung des Geschäftsmodells mittels Visualisierungssoftware ist eine Möglichkeit die Ergebnisse zu dokumentieren. Eine weitere Dokumentationsmöglichkeit basiert auf dem vorgeschlagenen Meta-Model von [Sc13], welche mit Hilfe von Modellierungstools abgebildet werden kann. Dieser Prozessschritt wird von dem Geschäftsführer verantwortet, welcher aktiv an den einzelnen Aktivitäten beteiligt ist. Der DBA nimmt für diesen Prozessschritt die durchführende Rolle ein und unterstützt bei der Auswahl des Geschäftsmodellansatzes, der Geschäftsmodellentwicklung sowie bei der Auswahl einer geeigneten Dokumentationssoftware. Das Ergebnis dieses Prozesses ist das vollständige digitale Geschäftsmodell, welches die Grundlage für weitere Operationalisierungsaktivitäten bildet.

Im Prozessschritt ***„Record Your Capabilities“*** wird die Frage geklärt, *„Welche Fähigkeiten benötigt unser Unternehmen bzw. unser zukünftiges Unternehmen um das entwickelte Geschäftsmodell umzusetzen?“* Als Grundlage für die Beantwortung dieser Frage unterstützt die Disziplin des Fähigkeiten-Management (Capability Management), welche in Theorie und Praxis zunehmend an Aufmerksamkeit gewinnt [Wi16b]. Fähigkeiten werden derzeit als das fehlende Bindeglied zwischen Geschäftsbereichen und IT gesehen und unterstützen somit das Business-IT Alignment (BITA) [Wi17, Gr09, Lo15]. Für die vorliegende Phase wird eine leistungsfähige Methode (Capability Management Guide) vorgeschlagen, welche bei der Identifikation, Strukturierung und

Verwaltung von Fähigkeiten hilft [Wi17]. Innerhalb des Szenario 2 wurden im Rahmen des Capability Management Guide (CMG) folgende Aktivitäten durchlaufen: *DITP4.1 Erfassung benötigter und vorhandener Fähigkeiten, DITP4.2 Capability Modeling, DITP4.3 Gap Analyse und Anpassungen*. Der CMG basiert auf einem integrierten Fähigkeiten-Ansatz, der auf Basis verschiedener wissenschaftlichen Untersuchungen entwickelt wurde. Der Ansatz ist eingebettet in einen Prozess, der vier Bausteine umfasst, die geeignete Verfahren, Konzepte und unterstützende Werkzeuge aus theoretischen und praktischen Anwendungsfällen vorschlagen, um Fähigkeiten im Unternehmen zu finden und strukturieren zu können [Wi17]. Der Prozess wird von dem Geschäftsführer des Gründerteams verantwortet. Der DBA nimmt für diesen Prozessschritt ebenfalls die durchführende Rolle ein, arbeitet die vier Bausteine ab und bindet dabei die Gründer sowie Fachbereiche in die Erstellung des Fähigkeitenkatalogs ein. Das Ergebnis dieses Prozesses ist ein Katalog, welcher die benötigten Fähigkeiten zur Umsetzung des Geschäftsmodells beschreibt.

In der Phase **„Engineer the Architecture“** wird mit Hilfe der ermittelten Fähigkeiten das zukünftige Architekturmodell, ggf. unter Berücksichtigung der vorhandenen Architektur, abgeleitet und erstellt. Ziel der Phase ist es ein Unternehmensarchitekturmodell (EA) mit den benötigten Architekturobjekten und deren Abhängigkeiten zu beschreiben, um ein transparentes Bild über die für die Umsetzung des Geschäftsmodells notwendigen Aspekte zu erhalten [Sc08]. Als Grundlage dient der definierte Fähigkeitenkatalog, aus dessen Inhalten benötigte Unternehmensarchitekturobjekte abgeleitet werden können [Wi17]. In diesem Zusammenhang werden die folgenden Aktivitäten vorgeschlagen: *DITP5.1 Auswahl eines Ansatzes zur Impact Analysis, DITP5.2 Entwicklung der Unternehmensarchitektur inkl. Roadmap zur Integration, DITP5.3 Projektportfolio zur Umsetzung*. Für DITP5.1 ist notwendig einen geeigneten Modellierungsansatz und Tool auszuwählen. Das kann in erster Linie auf Basis der erfassten Anforderungen und/oder auf Basis von vorhandenen Erfahrungen geschehen [Ma11, Sc08, Ha16]. Da es sich im Szenario 2 um eine initiale EA handelt und die Ressourcen für die Gründer beschränkt sind, benötigen diese für die Modellierung eine unkomplizierte und eine schnell erlernbare Methodik, welche jedoch in der Lage ist die Gesamtarchitektur (z.B. Prozesse, IT, Rollen, Ressourcen, Ziele) abzubilden. Eine Methode, welche diese Anforderungen erfüllt, ist die 4EM-Methode [Sa14]. Sie beschreibt einen Ansatz zur systematisch und kontrollierten Arbeitsweise bei der Analyse, Erfassung, Entwicklung und Dokumentation eines Unternehmens oder einer Organisationseinheit. Dabei ist es das Ziel Strukturen und Prozesse Schrittweise in Form einer EA abzubilden, wobei sich die einzelnen Elemente bereits aus den Fähigkeiten des Katalogs ableiten lassen.

Um die Entwicklung der Unternehmensarchitektur abzuschließen, müssen die einzelnen Modelle entsprechend dokumentiert werden. Dazu empfehlen sich Softwaretools, welche von einfachen Text-, Tabellen- und Grafikprogrammen bis zu umfassenden Enterprise Architecture Modellig und Management Tools reichen können, welche entsprechend dem Anforderungs- und Reifeprofil ausgewählt werden müssen [Sc08, Sc06]. Da es sich im Szenario 2 um ein Start-Up handelte, welches einen unkomplizierten Ansatz zur

Modellierung der Unternehmensarchitektur gewählt hatte, wurde vorerst auch nur ein grafisches Modellierungstool genutzt, um die benötigten Abhängigkeiten zu visualisieren. Der DBA nimmt für diesen Prozessschritt eine durchführende Rolle ein und unterstützt sowohl bei der anforderungsgerechten Auswahl des Modellierungsansatzes sowie bei der Erstellung und Dokumentation der Architektur mit Hilfe eines passenden Softwaretools. Das Ergebnis dieser Phase ist die Unternehmensarchitektur, welche für die Operationalisierung des Geschäftsmodells notwendig ist.

Die Art und Weise, die geplante EA umzusetzen und die daraus hervorgehenden Veränderungsmaßnahmen, haben einen entscheidenden Einfluss auf den Erfolg des Unternehmens. Zu diesem Zweck richtet sich die Phase ***„Transform Your Company“*** auf die Aktivitäten *DITP6.1 Projekt-Setup, DITP6.2 Umsetzung und DITP6.3 Rollout* der EA im Unternehmen. Die Planung strategischer Initiativen und/oder einzelner Projekte stellen den Rahmen für die folgenden Veränderungsmaßnahmen bzw. die Umsetzung der geplanten EA dar. Des Weiteren umfasst diese Phase die Definition von typischen Projektmanagement-Aktivitäten wie z.B. die Definitionen von Meilensteinen, Bereitstellung von Informationen, Personal, Eskalationshandling, Implementierung und Rollout Reporting [Ah12]. Hierbei kann es dazu kommen, dass einzelne Teile des DITPs wiederholt werden. Eine EA erfolgreich zu implementieren hängt zum einen von der bereits genannten Planung ab, jedoch auch von dem Reifegrad der EA Modelle – ein ungenügender Reifegrad fällt bei der Planung der Projekte auf und muss in einem iterativen Prozess mit dem vorangegangen Phase erhöht werden [Ha16]. Des Weiteren müssen die Nutzer (z. B. Vorstandsebene, Geschäftsentwickler, Linienmanager) vom Nutzen der entstehenden Strukturen überzeugt sein [Sa14, Ah12]. Um sowohl ein erfolgreiches Rollout als auch einen umfangreichen Einsatz zu erreichen, empfiehlt sich folgendes Vorgehen. Der Rollout-Prozess sollte mit einer bestimmten Veränderungsmaßnahme innerhalb eines Pilotprojektes in einer ausgewählten Organisationseinheit beginnen. Das Projekt muss nachweisen, ob die erwarteten Vorteile eintreten bzw. unterwartete Herausforderungen auftreten. Nach der erfolgreichen Umsetzung eines Pilotprojektes können die implementierten Veränderungsmaßnahmen über weitere Organisationseinheiten bzw. die gesamte Organisation ausgerollt werden. Diese Vorgehensweise kann für weitere Veränderungen und Organisationseinheiten wiederholt werden, wobei diese von unterschiedlichen Organisationseinheiten verantwortet werden können. Auf Basis der EA und mit Hilfe von grafischen Modellen sowie Simulationen können verschiedene Einführungsansätze durchgespielt und getestet werden. Der DBA unterstützt das/die Projektteam(s) bei der Umsetzung. Ergebnis dieser Phase ist ein, auf einer EA basierendes, operationalisiertes Geschäftsmodell.

Angesichts der Tatsache, dass Unternehmen ständig neuen digitale Herausforderungen in immer kürzeren Zeitabständen gegenüber stehen, müssen Monitor- und Kontrollaktivitäten im Unternehmen installiert sein, um z.B. die neuen digitalen Bestandteile der Unternehmensarchitektur zu überwachen oder aber Auslöser für digitale Veränderungen frühzeitiger erkennen zu können [Sc16b]. In diesem Zusammenhang ist eine der wichtigsten Aufgaben der Phase ***„Deliver New Inputs“*** die Sicherstellung der

Digitalisierungszielen. Um die Qualität von kurz/mittel- und langfristigen unternehmensweiten Digitalisierungsziele und die damit in Zusammenhang stehenden Veränderungen zu verfolgen, definieren Unternehmen geeignete Indikatoren/ Kennzahlen, welche über eine entsprechende Datenbasis versorgt werden müssen [Wi16a]. Insbesondere nutzungs-, trend- und kontextbezogene Daten eingeführter digitaler Veränderungen bilden die Grundlage für neue Inputs des DITP. Mess-, Risiko- und Compliance-Prüfungen sind auf Kennzahlen aufbauende Aktivitäten, welche auf Basis der gesammelten Daten die Umsetzung und Bewertung von Zielen sowie die Ableitung neuer Inputs für das Vorgehen unterstützen könnten. Der DBA hilft bei der Informationsbedarfsanalyse [Lu05] der Geschäftsführung hinsichtlich der Definition geeigneter Kennzahlen und stellt die dafür notwendigen Elemente in der Unternehmensarchitektur zusammen.

6 Fazit und Ausblick

Die erfolgreiche Entwicklung und Integration digitaler Geschäftsmodelle erfordert ein hohes Maß an Agilität, welche nur dann ökonomisch gegeben ist, wenn die Auswirkungen von Veränderungen im Unternehmen oder die Entwicklung neuer Unternehmen zu jedem Zeitpunkt bestimmt werden können. Grundvoraussetzung sind innovative Ideen, das Wissen um die Entwicklung von Geschäftsmodellen, die für die Anpassung bzw. Neugestaltung notwendigen Fähigkeiten und die davon betroffenen Architekturen innerhalb und außerhalb des Unternehmens. Um diese Voraussetzungen zu schaffen und verwalten zu können, bedarf es einer Reihe an Methoden und Werkzeugen unterschiedlicher Disziplinen, welche als Bestandteil eines integrierten Vorgehens des DBAs im Rahmen dieser Arbeit vorgestellt wurden.

Insbesondere für Studierende und Lehrende an Universitäten und Hochschulen, vor allem in Studiengängen der Wirtschaftsinformatik, aber auch als Ergänzung in der Informatik und den Wirtschaftswissenschaften kann das DBA Profil gelehrt werden. Hier kann das Vorgehen und dessen methodische Inhalte im Bereich elektronischer Geschäftsverkehr (Electronic Business), Geschäftsmodellentwicklung und Management (Business Model Management), Unternehmensarchitektur-Management (Enterprise Architecture Management) sowie Unternehmensanalyse (Business Analysis) verwendet werden. Aber auch für Praktiker in Unternehmen kann das Vorgehen für das Selbststudium bzw. als Handbuch verwendet werden und erste Möglichkeiten und Herangehensweisen für die digitale Transformation aufzeigen. Das vorgestellte Profil des DBA sowie der DITP werden derzeit in zwei weiteren Fallstudien für das Szenario 1 und 3 untersucht und auf Basis der Ergebnisse angepasst.

Literaturverzeichnis

[Ah12] Ahlemann, F.: Strategic enterprise architecture management. Challenges, best

practices, and future developments. Springer, Berlin, New York, 2012.

[An14] Anastasios, P.: Capability-based planning with TOGAF and ArchiMate. Master Thesis, Twente, 2014.

[De17] Deloitte: Deloitte Tech Trends 2017. https://www2.deloitte.com/global/en/pages/technology/articles/tech-trends.html, 19.06.2017.

[DP03] Dubé, L.; Paré, G.: Rigor in Information Systems Positivist Case Research: Current Practices, Trends, and Recommendations. In MIS Quarterly, 2003, 27; S. 597–636.

[Ga16] Gartner: Gartner Hype Cycle 2016. http://www.gartner.com, 19.06.2017.

[Gö03] Göthlich, S. E.: Fallstudien als Forschungsmethode: Plädoyer für einen Methodenpluralismus in der deutschen betriebswirtschaftlichen Forschung. Manuskripte aus den Instituten für Betriebswirtschaftslehre der Universität Kiel, 2003.

[Gr09] Greski, L.: Business capability modeling: Theory & practice. In Architecture & Governance Magazine, 2009.

[Ha16] Hanschke, I.: Enterprise Architecture Management - einfach und effektiv. Ein praktischer Leitfaden für die Einführung von EAM. Hanser, Carl, München, 2016.

[Ho15] Hoffmeister, C.: Digital Business Modelling. Digitale Geschäftsmodelle entwickeln und strategisch verankern. Hanser, München, 2015.

[Ki04] Kitchenham, B.: Procedures for performing systematic reviews. In Keele, UK, Keele University, 2004, 33; S. 1–26.

[LB15a] Lemke, C.; Brenner, W.: Verstehen des digitalen Zeitalters. Springer Gabler, Berlin [u.a.], 2015.

[LB15b] Lemke, C.; Brenner, W.: Einführung in die Wirtschaftsinformatik. Band 1: Verstehen des digitalen Zeitalters. Springer Gabler, Berlin, 2015.

[Lo15] Loucopoulos, P. et al.: Enterprise Capability Modeling: Concepts, Method, and Application. In (Hinkelmann, K.; Thönssen, B. Hrsg.): 2015 Third International Conference on Enterprise Systems - ES 2015. 14-15 October 2015, Basel, Switzerland proceedings. IEEE, Piscataway, NJ, Piscataway, NJ, 2015; S. 66–77.

[Lu05] Lundqvist, M. et al.: Context-Driven Information Demand Analysis in Information Logistics and Decision Support Practices: Workshop on Contexts and Ontologies: Theory, Practice and Applications, Riva del Garda, Italy, 2005.

[Ma11] Matthes, D.: Enterprise Architecture Frameworks Kompendium. Über 50 Rahmenwerke für das IT-Management. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2011.

[OP13] Osterwalder, A.; Pigneur, Y.: Business model generation. A handbook for visionaries, game changers, and challengers. Wiley, Hoboken, N.J., 2013.

[Pl17] Plewka, t.: Die Entwicklung einer Fallstudie zur Integration von digitalen Geschäftsmodellen und Architekturen, 2017.

[Pr17] Producthunt: Producthunt Protfolio. https://www.producthunt.com/, 19.06.2017.

[Sa13] Sandberg, B.: Wissenschaftlich Arbeiten von Abbildung bis Zitat. Lehr- und Übungsbuch für Bachelor, Master und Promotion. Oldenbourg Wissenschaftsverlag, München, 2013.

[Sa14] Sandkuhl, K. et al.: Enterprise modeling. Tackling business challenges with the 4EM method. Springer, Heidelberg, 2014.

[Sc06] Schekkerman, J.: How to survive in the jungle of enterprise architecture frameworks. Creating or choosing an enterprise architecture framework. Trafford, Victoria, B.C., 2006.

[Sc08] Schekkerman, J.: Enterprise architecture good practices guide. How to manage the enterprise architecture practice. Trafford Publ, Victoria, 2008.

[Sc13] Schallmo, D.: Geschäftsmodelle erfolgreich entwickeln und implementieren. Mit Aufgaben und Kontrollfragen. Springer Gabler, Berlin [u.a.], 2013.

[Sc16a] Schallmo, D. R.: Jetzt digital transformieren. So gelingt die erfolgreiche Digitale Transformation Ihres Geschäftsmodells. Gabler, Wiesbaden, 2016.

[Sc16b] Schallmo, D. et al.: Digitale Transformation von Geschäftsmodellen: Grundlagen, Instrumente und Best Practices. Springer Gabler, 2016.

[SFS14] Simon, D.; Fischbach, K.; Schoder, D.: Enterprise architecture management and its role in corporate strategic management. In Information Systems and e-Business Management, 2014, 12; S. 5–42.

[SS15] Simon, D.; Schmidt, C. Hrsg.: Business architecture management. Architecting the business for consistency and alignment. Springer, Cham, 2015.

[SW17] Stelzer, P.; Wißotzki, M.: Enterprise Architecture Management in kleinen und mittleren Unternehmen - Ein Vorgehensmodell. Wie Business-IT-Alignment im Zeitalter der Digitalisierung auch in KMU gelingen kann. Kovac, Dr. Verlag, Hamburg, 2017.

[Th17] Thoughtworks: Technology Radar. https://www.thoughtworks.com/de/radar, 19.06.2017.

[Vr07] Vries, E. de: Epistemology and methodology in case research: a comparison between European and Americans is journals. American IS Journals, 2007.

[WH06] Wilde, T.; Hess, T.: Methodenspektrum der Wirtschaftsinformatik, 2006.

[Wi16a] Wirtz, B. W.: Electronic Business. Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, Wiesbaden, 2016.

[Wi16b] Wißotzki, M.: Exploring the Nature of Capability Research. In (El-Sheikh, E.; Zimmermann, A.; Jain, L. C. Hrsg.): Emerging Trends in the Evolution of Service-Oriented and Enterprise Architectures. Springer International Publishing, Cham, 2016; S. 179–200.

[Wi17] Wißotzki, M.: Capability Management Guide. Springer Vieweg Research, 2017.

[WKS15] Wißotzki, M.; Köpp, C.; Stelzer, P.: Rollenkonzepte im enterprise architecture management. In Lecture Notes in Informatics, 2015, 244; S. 127–138.

[Wo14] Wohlin, C.: Guidelines for snowballing in systematic literature studies and a replication in software engineering. In (Shepperd, M. Hrsg.): EASE 2014. The 18th International Conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering London, May 12th-14th, 2014. Association for Computing Machinery, New York, New York, 2014; S. 1–10.

[Yi13] Yin, R.: Case Study Research. SAGE Publications - BOOKS, [s.l.], 2013.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 2121

Enterprise Architecture als Katalysator zwischen Qualität, Effizienz und Governance

Andreas Hartmann[1]

Abstract: Die Digitalisierung treibt Änderungen in Unternehmen unnachlässig an und Geschäftsprozesse ohne entsprechende Softwareunterstützung werden selten. Um hier erfolgreich zu sein müssen Entscheidungsprozesse frühzeitig in der Softwarearchitektur abgebildet werden. Sie müssen der Unternehmensstrategie folgen und die Entscheidungsstrukturen des Unternehmens abbilden. Enterprise Architecture modelliert diese Informationen. Somit muss Enterprise Architecture eine Rolle als Bindeglied zwischen Strategie und Operative, z.B. als Architekturmuster in der Softwareentwicklung, einnehmen. Das erhöht nicht nur die Qualität der eingesetzten Software sondern macht Änderungen beherrschbar und steuerbar.

Keywords: Enterprise Architecture, IT-Governance, Software Architecture, DevOps

1 Einleitung

Aktuell nehmen sowohl die Größe, die Funktionalität und die gegenseitigen Abhängigkeiten von IT-Landschaften zu – die Komplexität steigt an [Ha16]. Experten meinen, dass nur durch einen modellbasierten Ansatz in Kombination mit einem modularen Aufbau diese Landschaften in Zukunft noch zu steuern sind [Sc17]. Gleichzeitig ist die Digitalisierung noch lange nicht abgeschlossen. Besonders deutlich werden Unterschiede, wenn Aspekte der Enterprise Architecture (EA) [RZM14] mit Softwarearchitekturen und Entwicklungsparadigmen verglichen werden [So11]. Als Beispiel können der Begriff der Governance und die damit verbundenen Entscheidungsprozesse herausgegriffen werden. Der vorliegende Beitrag beschreibt eine Untersuchung, wie Software - *by Design*- zu einer Erhöhung der Effizienz und Effektivität von Entscheidungsprozessen beitragen kann. Die EA nimmt herbei eine Rolle als Bindeglied/Katalysator ein.

2 Grundlagen

Software kann nur so gut sein wie sie zusammen mit Menschen funktioniert. Menschen, die in einer agilen und digitalisierten Welt sowohl effektiv als auch effizient über Situationen und Fragen entscheiden müssen. Eine Entscheidung kann nicht optimal getroffen werden wenn Informationen fehlen, der Kontext der Entscheidung nicht klar ist oder sich der Entscheider erst umständlich in einer Software zurechtfinden muss (vgl. [Is15]). Mit

[1] Hochschule für Telekommunikation Leipzig, Praktische Informatik/Software Engineering, Gustav-Freytag-Str. 43-45, 04277 Leipzig, hartmann@hft-leipzig.de

doi:10.18420/in2017_211

der Komplexität von IT-Landschaften steigen die Herausforderungen. Die Digitalisierung ist offensichtlich eben dort unvollständig gedacht, wenn Informationen aus einer Software erst extrahiert werden müssen, um dann manuell zu einem Termin gebracht zu werden, wo schließlich eine benötigte Entscheidung getroffen werden kann.

2.1 Softwareentwicklung und Softwarearchitektur

Werkzeuge hinsichtlich der Informationsbereitstellung sind bekannt und im Einsatz [Ha16-1]. Die Entscheidung selbst wird heute allerdings oft noch außerhalb dieser Werkzeuge getroffen. Vollständig betrachtet müsste die Entscheidung jedoch wieder den Weg zurück finden und der automatisierte Prozess direkt weiterlaufen. [Br14] zeigt z.B., wie ein ganzheitlicher Ansatz im ERP Kontext auszusehen hat. Im Sinne einer fachlichen Trennung der Belange stellt sich die Frage, ob die entsprechende Funktionalität der einzelnen Software nicht gekapselt und als Schnittstelle oder Service bereitgestellt werden sollte. Vergleichbar mit einem Prozess der Anmeldung könnte der Entscheidungsbedarf weitergeleitet, an entsprechender Stelle entschieden und dann die Entscheidung wieder in das System zurückgespielt werden (vgl. [Wi12], [Fo11]. Viele Entwicklungsmethoden/-modelle sind hier immer noch zu zentriert auf das eigene IT-System ausgelegt und Schnittstellen eher für den reinen Datenaustausch vorbehalten. Dabei enthält eine strukturierte Anforderungsanalyse alle Informationen zu Stakeholdern und Entscheidungsbedarfen. (Agile) Projektvorgehensmodelle sorgen für die ausreichende Dokumentation. Anstelle des üblichen Nutzerdialogs könnten der Entscheidungskontext und eine Entscheidungsvorlage gekapselt und als Service gestaltet werden.

2.2 Enterprise Architecture

Aus Unternehmenssicht genügt es nicht, sich nur auf einzelne Anwendungen zu fokussieren. Einen ganzheitlichen Ansatz zu finden ist jedoch nicht in jedem Fall eine einfache Frage – insbesondere bei größeren und gewachsenen Organisationen. Enterprise Architecture beschreibt die ebendiese Unternehmenssicht und heute gibt es verifizierbare Referenzarchitekturen. [CD17] zeigen am Beispiel des Telekommunikationssektors eine solche ganzheitliche Lösung mit entsprechenden EA Referenzmodellen.

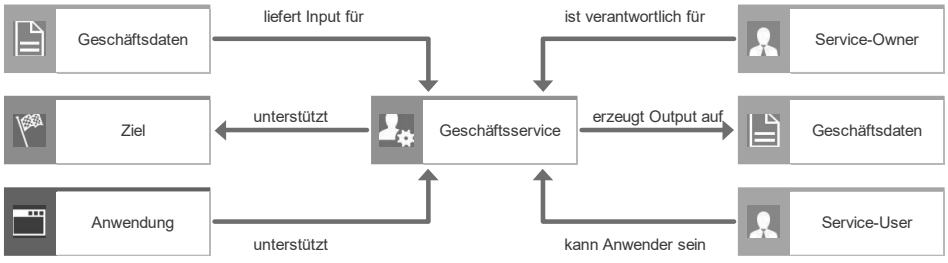


Abb. 1: Geschäftsarchitektur mit Detailbeschreibung eines Services

Die EA ist zudem ein wichtiger Baustein für die IT-Governance und liefert essentielle Informationen zu den Entscheidungsstrukturen [Ni06]. Für den Fall dass die Geschäftssicht konsequent modelliert wurde, liegen die Angaben über Zuständigkeiten und Verantwortlichkeiten vor. Über die Zuordnung von Software zu Prozess oder Service können die Entscheider identifiziert und benannt werden. Abb. 1 fokussiert einen Geschäftsservice mit Zuordnung der Verantwortlichkeit (Rolle: *Service-Owner*), Anwender und unterstützende IT (*Anwendung*).

2.3 IT-Governance

Mit IT-Governance verfolgen [WR04] das Ziel: „*Specifying the decision rights and accountability framework to encourage desirable behavior in the use of IT.* " Werden nach diesem Prinzip alle Informationen zu den Verantwortlichkeiten in der EA modelliert, ergibt sich nicht nur ein Gesamtbild des Unternehmens, sondern vielmehr die Transparenz der Entscheidungsstrukturen. [WR04] definieren darüber hinaus noch zwei unterschiedliche Aspekte hinsichtlich der IT-Governance: wer trifft die Entscheidung und wer bringt die zur Entscheidung benötigten Informationen bei. Ein vollständiges EA-Modell würde daher beide Aspekte implementieren. In Abb. 2 wird der Ausschnitt einer EA-Modellierung betrachtet. Dargestellt sind die Geschäftsservices und deren hierarchische Unterteilung mit je einem einzelnen Ausschnitt je Ebene. Das Gesamtbild ergibt sich, wenn für jeden Geschäftsservice die Verantwortlichkeiten und die zugeordnete IT-Unterstützung modelliert werden – in diesem Fall also für den Geschäftsbereich IT-Infrastruktur Management. Ein Ziel der Orchestrierung ist die Transparenz, welche direkt über ein geeignetes Reporting erreicht werden kann. DevOps-Werkzeuge wie z.B. Puppet liefern die dafür benötigten Fähigkeiten [Ak15].

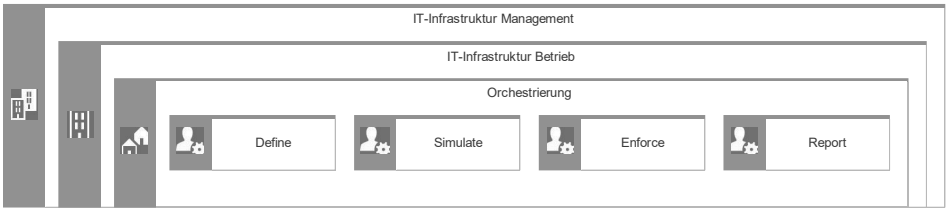


Abb. 2: Servicearchitektur eines Geschäftsbereichs

3 Konzept und Untersuchung

Die Untersuchung geht davon aus, dass Informationen zur Governance z.B. über entsprechende Referenzarchitekturen modelliert sind. Darauf basierend kann jetzt die Ver-

bindung zur Softwareentwicklung hergestellt werden. Beginnend mit einem Muster, nach dem die Kapselung der Entscheidungsfunktion bereits in der Softwarearchitektur verankert wird, können die konkreten EA-Modelle in die Anforderungen aufgenommen und die benötigten Schnittstellen spezifiziert werden. Im Sinne von MicroServices werden die Entscheidungen als funktionale Einheiten separiert. Die Umsetzung kann hier auf zwei Wegen erfolgen. Im ersten Fall findet eine angebotsorientierte Implementierung statt, bei der die Entscheidungsfunktion von der Software in Richtung Entscheider kommuniziert wird. Die tatsächliche Kommunikation könnte sich zunächst auf bekannte Medien stützen.

In einem erweiterten Szenario kommt ein bedarfsorientiertes Framework (*Generic Decision Framework*) zum Einsatz, welches Entscheidungsfunktionen aus der gesamten IT-Landschaft bündelt und die Entscheider nach Bedarf einbindet. Hier können die Entscheidungen zusammen mit den benötigten Informationen konsolidiert verarbeitet werden. Das Framework richtet seine fachlich Struktur dabei offensichtlich am EA-Modell und damit an der Governance aus. Es wird sichergestellt, dass die Entscheidungsbedarfe effektiv und effizient an die Entscheider gereicht werden. Das Framework kann dabei hierarchisch aufgebaut sein – passend zum Geschäftsmodell. Das bedeutet, Entscheidungen können bei Bedarf eskaliert bzw. an eine höhere Instanz weitergereicht werden. Auch eine dezentrale Architektur des Frameworks ist möglich und als Kollaborationswerkzeug unterstützt es die bidirektionale Zusammenarbeit (im Unterschied zum reinen Management Information System).

Im Beispiel der Orchestrierung (DevOps) kommt die Software Puppet zum Einsatz. Neben dem Reporting stehen Aufgaben zur automatischen Steuerung der Infrastruktur an. Entscheidungen bzgl. der Steuerung können mit Hilfe der Software getroffen und anschließend umgesetzt werden, wie z.B. der Umzug oder die Abschaltung von Anwendungscontainern. Die Verantwortung kritischer Entscheidung liegt organisatorisch beim Verantwortlichen der Orchestrierung bzw. wird von dort entsprechend der Servicehierarchie eskaliert. Abb. 3 zeigt schematisch die Kapselung der Entscheidungsfunktion, die Verantwortlichkeit und Verknüpfung zum generischen Framework. Die Informationsstruktur des Frameworks leitet sich aus der Governance ab.

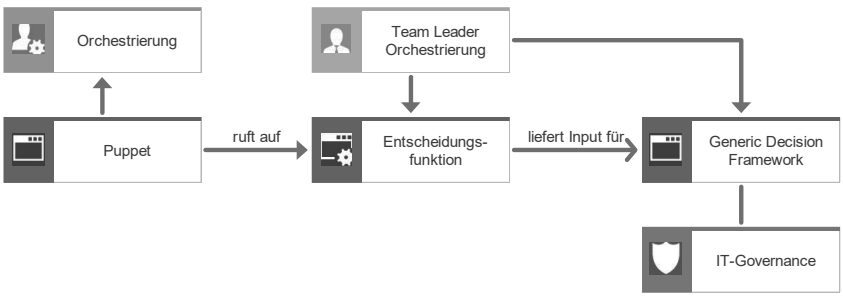


Abb. 3: Erweiterung des IT-Systems Puppet und Verknüpfung mit dem Framework

Das Konzept verbessert jedoch nicht nur die Effizienz der Entscheidungsprozesse. Im Unterschied zu anderen Methoden (vgl. [RR13]) kann der Ansatz auch strukturbildend oder als Qualitätsmaß benutzt werden (ähnlich [CR13], wo der Fokus auf Daten liegt).

Qualitätsmessung („gelebte Strukturen"): Die EA-Modelle müssen nicht der gelebten Governance entsprechen. Oft haben sich Verantwortlichkeiten geändert oder die Modelle sind nicht aktuell. Das generische Framework macht die gesamten Entscheidungsprozesse transparent und prüfbar. Besonders deutlich werden Abweichungen, wenn der Entscheidungsbedarf im Framework eine falsche Rolle erreicht.

Optimierung der Architektur: IT-Landschaften sind nicht statisch sondern entwickeln sich evolutionär weiter. EA-Modelle der Governance und Informationen des generischen Frameworks können in dieser Hinsicht als Gestaltungsprinzip für die IT-Landschaft herangezogen werden. Applikationen werden so geplant, dass möglichst effektive und effiziente Entscheidungen möglich sind. So können z.B. Schwachstellen sichtbar gemacht und in effizientere Strukturen umgewandelt werden.

Verwendung der Schnittstellen für Protokollierung: Schließlich kann mit der Kapselung der Entscheidungsfunktion eine kontinuierliche Protokollierung von Entscheidungen stattfinden. Neben der Transparenz ist hier ein wichtiger Nachweisfaktor für automatisierte Arbeitsvorgänge zu sehen.

4 Diskussion und Ausblick

Die Untersuchung adressiert eine Lücke zwischen Softwareentwicklung und Enterprise Architecture. In Zeiten von Digitalisierung und steigender Komplexität von IT-Landschaften wird Software viel zu oft noch aus zentralisierter Sicht entworfen. Probleme mit Schnittstellen zu anderen Anwendungen oder gar eine Bewertung der Qualität aus Sicht der IT-Landschaft fließen nicht konsequent in die Softwarearchitektur ein. Am Beispiel von Entscheidungsprozessen werden in der Arbeit Softwarestandards untersucht und evaluiert. Auf Basis von entsprechenden EA-Modellen mit Informationen zur IT-Governance wird weiterhin ein generisches Framework entwickelt, welches den Gedanken der Digitalisierung vorantreibt. Dabei wird zugleich ein modernes Architekturmuster erarbeitet, welches sich auch auf andere Bereiche übertragen lässt. Dieses Prinzip eröffnet eine agile Kopplung zwischen Strategie und Operative – so wie es [Ah17] mit dem Begriff *S2E* für die Zukunft von EAM vorhersagen. Gleichwohl ist zu beachten, dass Agilität in der EA eine Herausforderung darstellt. Veraltete Modelle bergen Risiken für die Effektivität des Frameworks. Darüber hinaus bedeutet das Architekturmuster eine „Öffnung" für die Softwarehersteller, was u.U. ein umfangreiches Re-Design von komplexen Anwendungen zur Folge haben kann. Die Wirtschaftlichkeit wird hierbei sorgfältig zu beobachten sein.

Literaturverzeichnis

[Ah17] Ahlemann, F., Stettiner, E., Messerschmidt, M., Legner, C. (Eds.): Strategic Enterprise Architecture Management. Challenges, Best Practices, and Future Developments. Springer, Heidelberg, 2017.

[Ak15] Akshaya H. L.; Nisarga Jagadish S.; Vidya J.; Veena K.: A Basic Introduction to DevOps Tools. International Journal of Computer Science & Information Technologies Volume 6 Issue 3 05-06/15, S. 2349-2353, 2015.

[Br14] Brockmann, C.: An approach to design the business model of an ERP vendor. Gito, Berlin, 2014.

[CR13] Capirossi J., Rabier P.: An Enterprise Architecture and Data Quality Framework. In (Benghozi PJ., Krob D., Rowe F. (eds)): Digital Enterprise Design and Management 2013. Advances in Intelligent Systems and Computing, Vol 205. Springer, Berlin, Heidelberg, S. 67-79, 2013.

[CD17] Czarnecki, C., Dietze, C.: Reference Architecture for the Telecommunications Industry: Transformation of Strategy, Organization, Processes, Data, and Applications. Springer, Heidelberg, 2017.

[Fo11] Fowler, M.: Patterns of Enterprise Application Architecture, Addison-Wesley Longman Publishing Co., 2011.

[Ha16] Hanschke, I.: Enterprise Architecture Management – einfach und effektiv, 2. Auflage, Carl Hanser Verlag, 2016.

[Ha16-1] Hafen, T.: com! Professional, http://www.com-magazin.de/praxis/ software/professionelle-datenanalyse-bi-tools-1061106.html, Stand 14.05.2017.

[Is15] ISO 9241-210:2010 - Ergonomics of human-system interaction, www.iso.org/standard/52075.html, Stand: 14.05.2017.

[Ni06] Niemann, K. D.: From enterprise architecture to IT governance. Vol. 1. Springer Fachmedien, 2006.

[RR13] Roszkowski J., Roszkowska A.: The Quality Management Metamodel in the Enterprise Architecture. In (Skersys T., Butleris R., Butkiene R. (eds)): Information and Software Technologies. ICIST 2013. Communications in Computer and Information Science, Vol 403. Springer, Berlin, Heidelberg, S. 11-21, 2013.

[RZM14] Roth, S.; Zec, M.; Matthes, F.: Enterprise Architecture Visualization Tool Survey 2014. Technical Report. sebis, Technische Universität München. 2014.

[Sc17] Schwaninger, M.: Komplexität systemisch meistern. Wirtschaftsinformatik & Management 02/17, S. 20-21, 2017.

[So11] Sommerville, I.: Software Engineering, 9th ed., Pearson, 2011.

[Wi12] Wiggins, A.: The Twelfe Factors, https://12factor.net, Stand: 14.05.2017.

[WR04] Weill, P.; Ross J. W.: IT governance: How top performers manage IT decision rights for superior results. Harvard Business Press, 2004.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 2127

Entwicklung einer Methode zur Priorisierung von Anforderungen unter Berücksichtigung von Synergieeffekten

Marcus Grum[1] und Christian Glaschke[2]

Abstract: Die Priorisierung von Anforderungen nimmt einen hohen Stellenwert im EA-Management ein. In verschiedenen Bereichen und auf sehr unterschiedlichen Ebenen müssen strategische, fachliche und wirtschaftliche Anforderungen bewertet und dadurch priorisiert werden. Dieser Beitrag zeigt eine neue Methode, die Anforderungen und deren Wirkung auf das System als Netzwerk begreift und somit Synergieeffekte zwischen Unternehmensbereichen aufnimmt, bewertet und in den Entscheidungsprozess einfließen lässt.

Keywords: Projektmanagement, Anforderungspriorisierung, Synergieeffekte

1 Einleitung

Informationstechnologien (IT) und Informationssysteme (IS) werden in immer stärkerem Maße dazu verwendet, innovative Produkte, Dienstleistungen und Geschäftsmodelle zu realisieren, indem Fachbereiche innerhalb und über die Unternehmensgrenzen hinaus kooperieren, solche Innovationen gemeinsam konzipieren und auf den Weg bringen. Mit dem Ziel der Ausrichtung an den strategischen Zielen eines Unternehmens ist es Aufgabe des Enterprise Architecture Managements (EAM), die Menge an Projekten zu identifizieren, die notwendig sind, um die Anwendungslandschaft eines Unternehmens auf Basis einer definierten Informationsarchitektur in einen erstrebenswerten Soll-Zustand zu überführen [D06].

Es ergibt sich somit für IT-Organisationen die Notwendigkeit, proaktiv und frühzeitig mit den Fachbereichen zu kooperieren und vorrangig in der Bewertung und Priorisierung der Anforderungen an IT, IS und an hierfür zu realisierende Projekte zusammen zu arbeiten, sodass die Entscheidung, welche dieser Anforderungen angesichts begrenzter betrieblicher Ressourcen zunächst realisiert werden, rational begründet werden kann. Hierdurch erhöhen sich die Chancen auf einen Erfolg in der Realisierung der zu entwickelnden Objekte und es wird ein Beitrag an der effizienten Gestaltung eines EAM geleistet.

Ein aktueller Stand zeigt, dass bisherige Ansätze hierfür rein wirtschaftliche

[1,2] Universität Potsdam, Lehrstuhl für Wirtschaftsinformatik, inbs. Prozesse und Systeme, August-Bebel-Str. 89, 14482 Potsdam
[1] marcus.grum@lswi.de
[2] christian.glaschke@lswi.de

doi:10.18420/in2017_212

Betrachtungen fokussieren, wie beispielsweise die ROI-Analyse oder stark quantitative Bewertungsansätze von Requests, und für eine Priorisierung relevante Aspekte nicht umfassend betrachten. Die identifizierten Forschungslücken zeigen den Bedarf einer Ausweitung des Verständnisses bzgl. des Zusammenhangs zwischen Aufwand und Nutzen, sodass Vor- und Nachteile von Abteilungen nicht nur isoliert betrachtet werden.

Mit dem Ziel, die Anforderungsrealisierung als Teil einer Wertschöpfungskette zu begreifen und eine optimierte Reihenfolge von Anforderungen im Sinne eines Rankings zu erstellen, gilt es, die integrativen, abteilungsübergreifenden Aspekte eines Anwendungssystems zu berücksichtigen. Da Anforderungen sich auf verschiedene Abteilungen auswirken, können mehrfach positive und auch negative Synergieeffekte entstehen. Diese sollen innerhalb eines Bewertungsmodells berücksichtigt werden und für die Erstellung eines Rankings genutzt werden.

Österle [ÖBF10] bezeichnen den Prozess der Priorisierung als sozio-technische Aktivität, die Mensch, Technik und Organisation umfasst und nach Brockmann [B14] in ein prozessuales Vorgehen integriert werden muss. Somit wird für das Bewertungsmodell eine Durchführungsmethode geschaffen, welche diese Aspekte berücksichtigt.

Die Potenziale dieses neuen Lösungsansatzes sollen dabei helfen, dem Erfolgsdruck auf das Projektmanagement gerecht zu werden und sicherstellen, dass die wichtigsten Anforderungen bearbeitet und der Projektumfang effektiv und effizient festgelegt werden kann. Weitere positive Eigenschaften einer effektiven und effizienten Priorisierung zeigen Regnel [R01]. An theoretischen Beispielen soll gezeigt werden, wie Synergieeffekte in mehrdimensionalen Aufwand/Nutzen-Verhältnissen ermittelt, bewertet und attraktive Projekte ausgewählt werden können, die ein effizientes EAM betreffen.

2 Aktueller Stand der Forschung

Um eine Ausgangsbasis für das Definieren einer neuen Priorisierungsmethode für EAM-Projekte zu schaffen, wird in einem ersten Unterkapitel das EAM zunächst definiert und im Anschluss eine Forschungslücke anhand des aktuellen Stands von Entscheidungsfindungsmodellen gezeichnet.

2.1 Definition eines Enterprise Architecture Managements

Definitionen für den Begriff des Enterprise Architecture Managements (EAM) existieren in großer Zahl, Heterogenität, Detaillierungsgrad, Reichweite der inkludierten Bestandteile und diverse Ausprägungen in verschiedenen Branchen [CD17]. Lankhorst [L05] definiert das EAM als kohärentes Ganzes von Prinzipien, Methoden und Modellen, die für die Realisierung von Organisationsstrukturen, Geschäftsprozessen,

Informationssystemen und Infrastrukturen zum Einsatz kommen. Ahlemann [ASML17] zu Folge umfasst das EAM somit eine Management-Philosophie, eine organisationale Funktion, eine Methodologie sowie eine Kultur. Dern [D06] zu Folge setzen sich die betrachteten Elemente des EAM, in dem Sinne die zu steuernde Enterprise Architecture (EA), aus Bestandteilen zusammen, wie sie in Abbildung 1 zur linken Seite als Ebenen einer Architekturpyramide des EAM ersichtlich sind und nachfolgend beschrieben werden. Während die linke Seite den Ist-Zustand der EA nach Dern [D06] repräsentiert, zeigt die rechte Architekturpyramide den definierten Soll-Zustand, der mit Hilfe von Projekten des Projektportfolios erreicht werden soll. Dass dieselben Bestandteile in einen optimierten Zustand überführt werden, ist mit dem asterisk gekennzeichnet, sodass die vorliegende Ausarbeitung ein projektorientiertes EAM fokussiert.

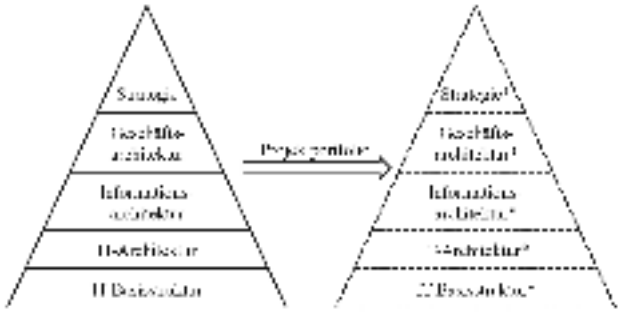


Abb. 1: Die projektbasierte Optimierung der Bestandteile des EAM

Die Entwicklung der Unternehmensarchitektur erfolgt auf Basis der Strategie des Unternehmens. Zumeist wird diese in Unternehmenszielen operationalisiert, Geschäftsfelder folgen der Ausrichtung des gesamten Unternehmens. Definitionen der Geschäftsarchitektur fokussieren auf die Architektur von Geschäftsprozessen, sodass sich der Informationsbedarf und für die Prozessdurchführung benötigte Informationen in der Aufbau- und Ablauforganisation des Unternehmens wiederspiegeln. Auf dieser aufbauend erfolgt die wertorientierte Gestaltung der Anwendungslandschaft in der Informationsarchitektur, sodass eine geschäftliche und technologische Integration realisiert wird. Zum Beispiel zählt hierzu auch die Einführung eines Enterprise Ressource Planning Systems (ERP). In der IT-Architektur wird eine strukturierende Abstraktion von IS geschaffen, um die Verständigung von IS-Entwicklungen zu vereinfachen. Hardware- und grundlegende Softwarekomponenten, die für die Laufzeitumgebung, Steuerung und für Entwicklungsprozesse benötigt werden, werden in der IT-Basisstruktur definiert.

In Anlehnung an dieses Architekturmodell enthält das Projektportfolio die Menge aller Projekte, die auf Basis des definierten Ist-Zustands einer Informationsarchitektur in einen definierten Soll-Zustand überführen. Als Stellschraube für Optimierungen gilt es ein Entscheidungsmodell zu finden, welches begrenzte Ressourcen für die Realisierung von Projekten und das Betreiben des realisierten Soll-Zustands (eingesetzte Leistung) angesichts eines erzielten Nutzens optimiert.

2.2 Ansätze für Entscheidungsfindungsmodelle

Um die Forschungslücke der vorliegenden Ausarbeitung zu identifizieren, wurden grundlegende Ansätze für Entscheidungsfindungsmodelle sowie weitere Techniken zur Priorisierung hinsichtlich später definierten, vier Untersuchungszielen analysiert. Betrachtete Ansätze finden sich in Spaltenüberschriften der Tabelle 1, nebenstehend finden sich korrespondierende Quellen. Ansätze für Entscheidungsfindungsmodelle fanden sich in vielen Disziplinen, wie der Psychologie, der Organisationstheorie, dem Requirement Engineering, etc. und werden nicht einzig für das Software Engineering eingesetzt.

Ähnliche Untersuchungen fanden sich in nachfolgenden: Aurum [AW03] zeigen hier eine Zuordnung von Entscheidungsfindungsmodellen zu diversen Anforderungs-priorisierungsmethoden. Berander [BA05] klassifizieren Techniken anhand der in der jeweiligen Technik verwendeten Messskala, Granularität und der für ihren Einsatz benötigten Erfahrung. In der Betrachtung stehen die Techniken AHP gemäß der Literatur ([R01], [SHM92]), Cumulative Voting (Hundert-Dollar-Test) gemäß Leffingwell [LW00], Ranking via Sortieralgorithmen wie Karlsson [KWR98], Numerical Assignment gemäß IEEE [I98]. Ebenso stehen hier das Top-Ten-Requirements nach Lausen [L02] und Kombinationen aus diesen Techniken. Greer [G05] gruppiert Techniken anhand der Vergleichsrelationen. Relative Einschätzungen leiten ein Ranking anhand eines relativen Vergleichs der Anforderungen untereinander ab. Hierunter fallen Techniken wie das AHP nach Saaty [S80] oder Sortieralgorithmen wie das Bubblesort, dem Minimalen Spannbaum und dem „Binären Suchbaum“, das „Kartensortieren“ und das „Laddering“ ([MR96], [RM97]). Absolute Einschätzungen leiten ein Ranking anhand eines Vergleichs bzgl. fester Kriterien ab. Hierunter fällt beispielsweise das SERUM nach [GBS99]. Sofern rechnerbetonte Kosten als Vergleichskriterien herangezogen werden, können hierzu ebenfalls das Simulated Annealing, die Tabu-Suche und Genetische Algorithmen herangezogen werden, die in Analogie zu biologischen Prozessen der Natur arbeiten ([CS01], [H75]). Hierzu zählt das EVOLVE [GR04]. Keine dieser Untersuchungen bzw. Techniken betrachtete die Verwendung von Nutzen- und Aufwandsdimensionen als Untersuchungsziel, welche in Tabelle 1 in den ersten beiden Zeilen zu finden sind. Des Weiteren wurde die Verwendung von Synergieeffekten zwischen Anforderungen und zwischen den Abteilungen bisher nicht berücksichtigt, die in den Zeilen drei und vier zu finden sind. Als Definition für Synergieeffekte wird somit folgende zugrunde gelegt:

Definition: Der Synergieeffekt zwischen den Abteilungen fokussiert positive und negative Effekte, die bei der Realisierung einer Anforderung in den Abteilungen erzielt werden.

Aus der Definition des Synergieeffektes ergibt sich eine klare Abgrenzung zu den von Aaqib [AFS09] untersuchten Abhängigkeiten zwischen Anforderungen, sodass in Tabelle 1 entsprechend des Untersuchungsziels eine Forschungslücke wie nachfolgend beschrieben deutlich wird.

	Cost Value Approach [KR97], [M03], [GH05]	**ROI-Analyzer** [G01]	**Cost of Delay** [L10]	**Relative Weighting** [W99], [W00a], [W00b], [M03], [C05]	**SERUM** [GBS99], [G05], [AFS09]	**Easy Win Win** [REP02], [REP03], [GH05]	**Kano-Modell** [C05], [L10], [H14]	**Analytical Hierarechical Process** [S80], [S91], [REP03], [AFS09], [SS13]	**Quality Function Deployment** [M02], [BK11]	**Total Cost of Ownership** [K04], [K05]	**Cumulative Voting (100$-Test)** [LW00], [R01]	**Top Ten** [L02]	**Ranking via Sortieralgorithmen** [KWR98]	**Scrum Sprint-Backlog** [SS13]	**MoSCoW**, [WB15]	**Conjoint-Analyse**, [BK11]	**Numerical Assignment**, [P98], [D03], [BA05]	**80/20-Pareto** [Y04], [E11]	**Nutzwert-Analyse** [G01], [B13]	**Value Oriented Priorization Method** [ASC07], [AFS09]	**Lean Software Development** [SS05]	**EVOLVE** [GR04], [G05], [AFS09]	**T-Shirt-Sizing/ Planning Poker** [C05]	**COCOMO** [BGW09], [F09], [S10]	**Function Points** [Gray und Larson, 2008, S. 125], [S10]	**Use Case Points 3.0** [F09]
Aufwand	✓	✓	✓	✓	✓	✓	~	~	~	✓	~	~	~	✓	✕	✕	✕	✕	✕	✕	✕	✕	✓	✓	✓	✓
Nutzen	✓	✓	✓	✓	✓	✓	~	~	~	✓	~	~	~	~	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✕	✕	✕	✕
Synergieeffekte zw. Anford.	✕	✕	✕	✕	✕	~	✕	~	✕	✕	✕	~	~	~	✕	✕	~	✕	✕	✕	✕	✕	✕	✕	✕	✕
Synergieeffekte zw. Abteilungen	✕	✕	✕	✕	✕	✕	✕	✕	✕	✕	✕	✕	✕	✕	✕	✕	✕	✕	✕	✕	✕	✕	✕	✕	✕	✕
	Aufwand-Nutzen-Fokus						**Inhärenter Aufwand-Nutzen-Fokus**								**Nutzenfokus**								**Aufwandsfokus**			

Tab. 1: Forschungslücke der Priorisierungstechniken im Überblick

Zur Kennzeichnung werden die folgenden drei Symbole verwendet:

- Das ✓- Zeichen visualisiert, dass ein Merkmal in der Technik direkte Anwendung findet.
- Das ~ - Zeichen visualisiert, dass ein Merkmal in der Technik inhärent Anwendung findet.
- Das ✕- Zeichen visualisiert, dass ein Merkmal in der Technik keine Anwendung findet.

In Betracht der aufgeführten Techniken in Tabelle 1 fällt auf, dass einige Techniken sowohl Kosten-, als auch Nutzen-Dimensionen berücksichtigen, andere in Kombination gleichwertige Aussagen produzieren können. Hier bietet sich z.B. die Kombination aus dem Numerical Assignment und dem Ranking an. Inhärent werden Synergieeffekte einzig in der gruppierten Anforderungspriorisierung gemäß Regnell [R01] zwischen den Anforderungen selbst berücksichtigt. Idealerweise werden den Gruppierungen ähnliche Anforderungen zugeordnet, die nicht in Konkurrenz stehen, und somit Synergieeffekte zwischen den Anforderungen berücksichtigen. Es wird nur noch die gesamte Gruppierung bewertet. Explizit werden diese Effekte jedoch in keinem gezeigten Ansatz berücksichtigt.

Nach dem Kenntnisstand der Autoren existieren zurzeit weder Ansätze für eine inhärente oder explizite Berücksichtigung der Synergieeffekte zwischen den Abteilungen, noch können diese mittels Technikkombinationen erzeugt werden. Hierfür bedarf es einer Ausweitung des Verständnisses bzgl. des Zusammenhangs zwischen Aufwand und Nutzen. Weiter existiert keine Methode, die eine gleichberechtigte Bewertung einzelner Abteilungen gewährleistet.

3 Der Synergieeffekt

Die dem *SynergieEffekt* zugrundeliegende Idee ist, dass zur Identifizierung von strategisch bedeutsamen Anforderungen mitunter Synergieeffekte dienen können, die in den Abteilungen entstehen, wenn die Anforderungen realisiert werden. Im Folgenden wird davon ausgegangen, dass jede Anforderung in Form von unabhängigen Projekten abgewickelt wird.

Um die Synergieeffekte zu identifizieren, werden Abteilungen, die mindestens aus einer Person bestehen und innerbetrieblich, aber auch über die Grenzen der Organisation verteilt vorliegen, als Teile eines Netzwerks begriffen. Für diese können spezifische Aufwände der Abteilungen den spezifischen Nutzen gegenübergestellt werden. Somit wird deutlich, welche Abteilungen arbeiten müssen und welche Abteilungen von dieser Arbeit profitieren.

Weil Aufwand- und Nutzenpotenziale der Anforderungen in bisherigen Score-Verteilungen nur im Gesamten betrachtet wurden, blieben Synergieeffekte bisher vollständig unbeachtet. Es ist eine Lösung zu finden, die den folgenden Anforderungen genüge tut:

- Projekte mit größeren Summen an Nutzenwerten sollen bevorzugt werden.
- Projekte mit größeren Summen an Arbeitsaufwänden relativieren Nutzenwerte.
- Abteilungen konkurrieren nicht um Nutzenwerte oder Arbeitsaufwände.
- Geringere abteilungsübergreifende Arbeitsbeteiligungen sind zu bevorzugen.
- Größere abteilungsübergreifende Arbeitseinsparungen sind zu bevorzugen.
- Projekte, die einen Schaden in Abteilungen erzeugt sind im Vergleich zu Projekten, die die gleiche Summe an Nutzen- und Aufwandspunkten erzeugen, zu benachteiligen.

Diesen Anforderungen stellen sich die nachfolgenden Ausführungen. Zu identifizieren sind für jedes Projekt zwei Matrizen mit jeweils l Elementen, wobei l für die Anzahl der Abteilungen in der betrachteten Unternehmenseinheit steht. Zum ersten ist eine Aufwandsmatrix zu identifizieren, in welcher jedes Element für den Aufwand einer Abteilung l steht, der auf diese zurückfällt, wenn das Projekt realisiert wird. Diese ist nachfolgend ersichtlich:

$$\overline{\text{Aufwand}} = \left[\frac{1}{Aufwand_{Abteilung_1}} \quad \frac{1}{Aufwand_{Abteilung_2}} \quad \square \quad \frac{1}{Aufwand_{Abteilung_l}} \right]_{1 \times l} \tag{1}$$

Zum zweiten ist eine Nutzenmatrix zu identifizieren, bei welcher jedes Element den Nutzen einer Abteilung l repräsentiert, der entsteht, wenn das betrachtete Projekt

realisiert wird. Diese ist nachfolgend ersichtlich:

$$\overline{\text{Nutzen}} = \left[Nutzen_{Abteilung_1} \quad Nutzen_{Abteilung_2} \quad \ldots \quad Nutzen_{Abteilung_l} \right]^T_{lx1} \tag{2}$$

Der Definitionsbereich der beiden Vektoren beläuft sich auf $\overline{\text{Nutzen}}$, $\overline{\text{Aufwand}} \in \mathbb{R}^l$, wobei Aufwand > 0}. Der Definitionsbereich des Aufwands ist als prozentualer Arbeitsaufwand einer Abteilung *j* zu interpretieren, der einmalig entsteht, wenn ein Projekt durchgeführt wird. Wenn der Aufwand einer Abteilung *j* zwischen eins und null fällt, spart sich diese Abteilung Arbeit bei der Durchführung des zu bewertenden Projekts, da z.B. ein alternatives Projekt nicht zu Ende geführt werden muss. Sie bleibt unbeteiligt bei einem Arbeitseinsatz von 1. Wenn der Aufwand größer als 1 ist, muss sie an einem Projekt partizipieren. Es gilt: Je größer der Aufwandswert ist, desto größer ist der geplante Arbeitseinsatz dieser Abteilung und je weiter der Aufwandswert unterhalb der eins ist, desto größer ist die Arbeitseinsparung der Abteilung.

Der Definitionsbereich des Nutzens einer Abteilung *i* ist intuitiv zu interpretieren. Ist dieser größer als 0, so profitiert diese Abteilung in Folge eines Projekts, da sie z.B. einen dauerhaften, monetären Nutzen an der effektiveren Durchführung eines Prozesses hat. Ist dieser kleiner als 0, so werden für diese Abteilung negative Effekte in Folge des Projekts erwartet. Beispielsweise kann ein abteilungsspezifischer Schaden genannt werden, da teure Serveranlagen gekauft werden müssen. Unter Umständen können Projekte trotz negativer Effekte mancher Abteilungen dennoch sinnvoll sein. Beispielsweise können teure Hardwareanlagen als Schaden für eine Abteilung interpretiert werden, aber für weitere Abteilungen einen hohen Nutzen entfalten. Entscheidend ist hier die Summe an Nutzenwerten sämtlicher Abteilungen. Ist diese positiv, so macht das Projekt für das Unternehmen im Gesamten Sinn. Wird für eine Abteilung ein Nutzen von 0 gewählt, so bedeutet dies, dass keine Nutzeneffekte in Folge des Projekts zu erwarten sind.

In Anlehnung an der Definition des dyadischen Produkts wird wie folgt definiert [ZJ07]: Wird die einspaltige Matrix als Spaltenvektor $\overline{\text{Nutzen}}$ interpretiert und die einzeilige Matrix als Zeilenvektor $\overline{\text{Aufwand}}^T$ so ergibt sich aus dem dyadischen Produkt eine Matrix namens *SynergieMatrix* $\in \mathbb{R}^{lxl}$, dessen Elemente das Aufwands-Nutzen-Verhältnis für jede Abteilung abbildet.

$$SynergieMatrix = \overline{\text{Nutzen}} \otimes \overline{\text{Aufwand}} = \overline{\text{Nutzen}} \cdot \overline{\text{Aufwand}}^T = [...]_{lxl} \tag{3}$$

Weil bei jedem Unternehmen nicht immer sämtliche Abteilungen Aufwand leisten oder Nutzen nießen, werden im Folgenden *m* Abteilungen fokussiert, die einen Nutzen nießen, und *n* Abteilungen, die einen Aufwand leisten. Die entstehende Menge ist als Teilmenge der gesamten Menge an Abteilungspaaren zu verstehen:

$$SynergieMatrix = \begin{bmatrix} \frac{Nutzen_{Abteilung_1}}{Aufwand_{Abteilung_1}} & \frac{Nutzen_{Abteilung_1}}{Aufwand_{Abteilung_2}} & \cdots & \frac{Nutzen_{Abteilung_1}}{Aufwand_{Abteilung_1}} \\ \frac{Nutzen_{Abteilung_2}}{Aufwand_{Abteilung_1}} & \frac{Nutzen_{Abteilung_2}}{Aufwand_{Abteilung_2}} & \cdots & \frac{Nutzen_{Abteilung_2}}{Aufwand_{Abteilung_1}} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \frac{Nutzen_{Abteilung_{...}}}{Aufwand_{Abteilung_1}} \\ \frac{Nutzen_{Abteilung_m}}{Aufwand_{Abteilung_1}} & \frac{Nutzen_{Abteilung_m}}{Aufwand_{Abteilung_2}} & \frac{Nutzen_{Abteilung_m}}{Aufwand_{Abteilung_{...}}} & \frac{Nutzen_{Abteilung_m}}{Aufwand_{Abteilung_n}} \end{bmatrix}_{mxn} \quad (4)$$

Beispielsweise kann am zweiten Element der letzten Zeile in der *SynergieMatrix* erkannt werden, welchen Nutzen die Abteilung *m* von einem Projekt erhält, wenn die $Abteilung_2$ dafür arbeiten muss. Im Vergleich mit anderen Elementen können somit Abhängigkeitsverhältnisse (negative Synergien), aber auch Nutzenpotenziale für viele Abteilungen erkannt werden, die bei einer Projektdurchführung entstehen. Der *SynergieEffekt* ergibt sich dann aus der Summe der Elemente wie in Gleichung (5) gesehen werden kann. Um den ungewollten Effekt zu vermeiden, dass der Schaden einer $Abteilung_i$ durch den Mehraufwand einer $Abteilung_j$ verkleinert oder durch den Minderaufwand dieser Abteilung vergrößert wird, kann die folgende Fallunterscheidung Abhilfe schaffen.

Hohe Synergieeffekte erzielen folglich Projekte, bei denen verhältnismäßig wenige Abteilungen arbeiten müssen und viele Abteilungen profitieren. Sofern der *SynergieEffekt* für mehrere Projekte ermittelt wird, können diese leicht in ein Ranking gebracht werden, sodass die attraktivsten Projekte hinsichtlich der Synergieeffekte anhand der höchsten Bewertung identifiziert werden können.

$$SynergieEffekt = \begin{cases} \frac{1}{n \cdot m} \sum_{i,j=1}^{n,m} \left(Nutzen_{Abteilung_i} \cdot \frac{1}{Aufwand_{Abteilung_j}} \right) & , Nutzen_{Abteilung_i} > 0 \\ \frac{1}{n \cdot m} \sum_{i,j=1}^{n,m} \left(Nutzen_{Abteilung_i} \cdot Aufwand_{Abteilung_j} \right) & , Nutzen_{Abteilung_i} \leq 0 \end{cases} \quad (5)$$

Der modellierte Zusammenhang des *SynergieEffekts* soll anhand Tabelle 2 mit Hilfe von mehreren Beispielen verdeutlicht werden, die aus Sicht der Autoren den wichtigsten Anwendungsfällen entsprechen. Da in den Beispielen oft die gleiche Anzahl an Aufwands- und Nutzenwerten verteilt werden, ist eine Vergleichbarkeit der Beispiele untereinander gewährleistet. Weiter wird der Vorteil einer abteilungsspezifischeren Betrachtung im Vergleich mit der Aufwands- und Nutzenbetrachtung auf Unternehmensebene transparent. Dies schließt Fachbereiche innerhalb und über die

Unternehmensgrenzen mit ein.

Der Tabelle ist zu entnehmen, dass die gewählten Fallbeispiele mit Hilfe des *SynergieEffekts* in eine sinnvolle Reihenfolge, dem Ranking, überführt werden können. Ebenfalls ist ersichtlich, dass das Bewertungsmodell den oben definierten Anforderungen gerecht wird und einer theoretischen Überprüfung standhält.

Synergie-effekt	**Fallbeispiele** **Welche Abteilungen profitieren?** **Welche Abteilungen arbeiten?** **(Bei Vergabe von ganzzahligen Bewertungen)**	**Summe der Nutzenwerte Auf Basis von 15 Abteilungen**	**Summe der Aufwände Auf Basis von 10 Abteilungen**
0,000	Unsinnige Projekte (kein Nutzen, aber Arbeit)	0	100
-6,600	Unsinnige Projekte (5 Abteilungen profitieren insg. 10 Punkte, 5 Abteilungen verlieren insg. 10 Punkte, 10 Abt. arbeiten)	0	100
-6,613‘	Schlechte Projekte (4 profitieren, 5 nicht, 10 arbeiten)	-2	100
-5,266‘	Gute, schadenbehaftete Projekte (5 profitieren, 4 nicht, 10 arbeiten)	+2	100
0,0133‘	Gute Projekte (1 profitieren, 10 arbeiten)	+2	100
1,000	Neutrale Projekte (arbeitende und profitierende Abteilungen befinden sich im Punkte-Fit)	150	100
10,000	10/1-Gute Projekte (alle 15 Abt. profitieren zu je 10 Punkten, keine der 10 Abteilungen muss arbeiten)	150	10
0,100	1/10-Gute Projekte (alle 15 Abt. profitieren zu 1 Punkt, 10 Abt. müssen 10 Punkte arbeiten)	15	100

Tab. 2: Arbeitsweise des *SynergieEffekts* im Überblick

4 Auswertung und Ausblick

In der Theorie wurde gezeigt, dass die an das Bewertungsmodell gestellten Anforderungen mittels ausgewählter Fallbeispiele überprüft werden können. Dieses gilt es in der Praxis zu validieren.

Die gezeigten Ergebnisse müssen wie folgt eingeschränkt werden. Als Prämisse gehen gezeigte Ansätze davon aus, dass ein EAM im Sinne eines projektorientierten EAMs entwickelt wird. Eine Integration in weitere Bereiche des EAM im Sinne von Ahlemann [ASML17] erfolgt nicht, sodass die geschaffene Methode zur Priorisierung von Anforderungen unter Berücksichtigung von Synergieeffekten lediglich als Ergänzung zu bestehenden Ansätzen zu verstehen ist. Ebenso können auch kleinere Vorhaben oder regelmäßige Abläufe Synergieeffekte erzielen, die keiner Organisation als Projekt bedürfen. Weiter werden Netzwerkeffekte diverser Abteilungen vorausgesetzt, sodass

der erfolgreiche Einsatz der geschaffenen Methode von der Auswahl relevanter Aufwandsträger und Nutznießer in direkter Weise abhängt.

Weiter gilt es das Bewertungsmodell zu erweitern, sodass auch Abhängigkeiten und/oder Synergien zwischen den Anforderungen bzw. Projekten direkte Berücksichtigung finden und die identifizierte Forschungslücke ergänzt werden kann. Eine Erstellung einer Fallbasis ist ebenso attraktiv, sodass sämtliche Bestandteile der EAM-Architekturpyramide überprüft werden können. Weiter können Fallbeispiele gereicht werden, welche über die Architekturpyramide eines einzelnen Unternehmens hinausreichen und beispielsweise folgende Bereiche berücksichtigt: Partnerunternehmen, Forschungskooperationen, Zulieferunternehmen, etc.

Literaturverzeichnis

[AFS09] Aaqib I.; Farhan, M.K.; Shabaz A.K.: A critical analysis of techniques for requirement priorization and open research issues. International Journal of Review in Computing, S. 8-18, 2009.

[ASML17] Ahlemann F.; Stettiner E.; Messerschmidt M.; Legner C.: Strategic Enterprise Architecture Management - Challenges, Best Practices and Future Developments. Springer, Heidelberg, 2017.

[AW03] Aurum A.; Wohlin C.: The Fundamental Nature of Requirement Engineering Activities as a Decision-Making Process. Information and Softwaretechnology. 45(14), S. 945-954, 2003.

[BA05] Berander, P.; Andrews, A.: Requirements prioritization. In A. Aurum & C. Wohlin (Eds.), Engineering and managing software requirements, Springer Berlin Heidelberg, S. 69-94, 2005.

[B14] Brockmann C.: An approach to design the business model of an ERP vendor. Gito, Berlin, 2014.

[CS01] Carnahan J.; Simha R.: Natures algorithms. IEEE Potentials, S. 21-24, 2001.

[CD17] Czarnecki C.; Dietze C.: Reference Architecture for the Telecommunications Industry: Transformation of Strategy, Organization, Processes, Data and Applications. Springer, Heidelberg, 2017.

[D06] Dern G.: Management von IT-Architekturen. 2. Auflage, Vieweg, 2006.

[G05] Greer, D.: Requirements Prioritisation for Incremental and Iterative Development. Requirements Engineering for Sociotechnical Systems. Information Science Publishing, S. 100-118, 2005.

[GBS99] Greer D.; Bustard D.; Sunazuka T.: Prioritisation of system changes using cost-benefit and risk assessments, Proceedings of the Fourth IEEE International Symposium on Requirements Engineering, S. 180-187, 1999.

[GR04] Greer D.; Ruhe G.: Software release planning: An evolutionary and iterative approach. Journal Information Systems, 46(4): S. 243-253, 2004.

[G01] Gronau N.: Industrielle Standardsoftware: Auswahl und Einführung. Oldenburg, München, 2001.

[G12] Gronau N. (2012) Handbuch der ERP-Auswahl. GITO-Verlag, Berlin, 2012.

[H75] Holland J.H.: Adaptation in natural and artificial systems. Ann Arbor: University of Michigan Press, 1975.

[H14] Hruschka P.: Business Analysis und Requirements Engineering: Produkte und Prozesse nachhaltig verbessern. Carl Hanser Verlag, 2014.

[I98] IEEE Std 830-1998: IEEE Recommended Practice for Software Requirements Specifications, IEEE Computer Society, Los Alamitos, 1998.

[I14] IEEE: Guide to the Software Engineering Body of Knowledge (Swebok®): Version 3.0. IEEE Computer Society Press, S. 8-12, 2014.

[KR97] Karlsson J.; Ryan K.:A cost-value approach for prioritizing requirements. IEEE Software, 14(5), S. 67-74, 1997.

[KWR98] Karlsson J.; Wohlin C.; Regnell B.: An Evaluation of Methods for Prioritizing Software Requirements, Information and Software Technology, 39(14-15), S. 939-947, 1998.

[K04] Keen J.: Avoiding the TCO Trap, CIO, S. 44-46, 2004.

[K05] Krcmar H.: Informationsmanagement. 4. Auflage, Springer, Berlin, 2005.

[L05] Lankhorst M.: Enterprise Architecture at Work: Modeling Communication and Analysis, Springer, 2005.

[L02] Lausen S.: Software Requirements – Styles and Techniques. Pearson Education, 2002.

[LW00] Leffingwell D.; Widrig D.: Managing Software Requirements – A Unified Approach. Addison-Wesley, 2000.

[L10] Leffingwell D.: Prioritizing Features. Technical report, Scaling Software Agility, http://scalingsoftwareagilityblog.com/prioritizing-features/, Abgerufen am: 24.09.2015.

[MR96] Maiden N.A.M.; Rugg G.: ACRE: Selecting methods for requirements acquisition. Software Engineering Journal, 11(3), S. 183-192, 1996.

[M02] Moisiadis F.: The fundamentals of prioritizing requirements, Proceedings of the systems engineering, test and evaluation conference, S. 1-12, 2002.

[M03] Moisiadis F.: A Framework for Prioritising Software Requirements. PhD thesis, Macquarie University, 2003.

[ÖBF10] Österle H.; Becker J.; Frank U.: Memorandum zur gestaltungsorientierten Wirtschafts-informatik. Zeitschrift für betriebswirtschaftlichliche Forschung, 11, S. 664–669, 2010.

[R01] Regnell B. et.al.: An Industrial Case Study on Distrubuted Priorisation in Market-Driven Requirements Engineering for Packaged Software. Requirements Engineering, 6(1), S. 51-62, 2001.

[RM97] Rugg G.; McGeorge P.: The sorting techniques: A tutorial paper on card sorts, picture

sorts and item sorts, Expert Systems, 14(2), S. 80-93, 1997.

[REP02] Ruhe G.; Eberlein A.; Pfahl D.: Quantitative WinWin – A New Method for Decision Support in Requirements Negotiation. Proceedings of the 14. International Conference SEKE, ACM Press, New York, S. 159-166, 2002.

[REP03] Ruhe G., Eberlein A., Pfahl D.: Trade-off Analysis for Requirements Selection. International Journal of SEKE, 13(4), 345-366, 2003.

[S80] Saaty T.L.: The analytic hierarchy process. McGraw Hill, New York, 1980.

[S01] Saaty T.L.: Models, Methods, Concepts & Applications of the Analytic Hierarch Process. Kluwer Academic Publishers, Norwell, 2001.

[S10] Schatten A. et.al.: Best Practice Software-Engineering. Spektrum Akademischer Verlag, Wien, 2010.

[SM99] Schulmeyer C.G.; Mc Manus J.I.: Handbook of Sotware Quality Assurance. 3. Ausgabe, Prentice Hall, Upper Saddly River, 1999.

[SS13] Schwaber K., Sutherland J. (2013) The Scrum-Guide, http://www.scrumguides.org/docs/ scrumguide/v1/Scrum-Guide-US.pdf, Abgerufen am 29.06.2017.

[SMS13] Shadab S.; Mohd R.B.; Shahin F.: Effectiveness of Requirement Priorization Using Analytical Hierarchy Process (AHP) And Planning Game (PG): A Comparative Study. International Journal of Computer Science and Information Technologies, 4(1), S. 46-49, 2013.

[SHM92] Shen Y.; Hoerl A.E.; McConnell W.: An Incomplete Design in the Analytical Hierarchy Process. Mathematical Computer Modelling 16(5), S. 121-129, 1992.

[SS05] Sillitti A.; Succi G.: Requirements Priorization. Springer, Heidelberg, 2005.

[TO12] The Office of Quality Improvement University of Wisconsin – Madison: Project Prioritization - A Structured Approach To Working On What Matters Most. http://oqi.wisc.edu/resourcelibrary/uploads/resources/Project_Prioritization_Guide_v_1.pdf. Abgerufen am 29.06.2017.

[W99] Wiegers K.E.: First things first Prioritizing requirements. Software Development Online, 7: S. 48-53, 1999.

[W00a] Wiegers K.E.: Karl Wiegers describes 10 requirements traps to avoid. Software Testing & Quality Engineering, 2(1), 2000.

[W00b] Wiegers K.E.: When telepathy won't do: Requirements engineering key practices. Cutter IT Journal, 13(5), S. 9-15, 2000.

[WB13] Wiegers K.; Beatty J.: Software Requirements, Developers Best Practices, Pearson Education, 2013.

[Y04] Young R.: The Requirements Engineering Handbook. Artech House technology management and professional development library, Artech House, 2004.

[ZJ07] Zahmann H.G.; Jüngel A.: Mathematik für Chemiker. 6. Auflage, Wiley-VCH, Weinheim, 2007.

Deep Learning in heterogenen Datenbeständen

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 2141

WS34 - Deep Learning in heterogenen Datenbeständen

Danny Kowerko[1] und Stefan Kahl[1]

Abstract: Deep learning techniques, especially artificial neural networks, have become irreplaceable in almost every aspect of modern information science. Breakthrough technologies evolve rapidly, driven by researchers with both, scientific and economic backgrounds. This workshop is a platform for students, post-docs, innovative enterprises and experts from Germany who present their latest works and demo applications. Recent advanced in the field of deep learning and their impact on research projects and economic endeavors are at the center of submitted papers and presentations. An active debate focusing on current work-in-progress, future research as well as chances and opportunities of deep learning is complemented by the discussion regarding the generation, processing and publishing of large heterogeneous datasets for research purposes.

The presented contributions span a wide variety of deep learning applications – from robotics to audio and text retrieval, from human pose estimation to medical data processing. This not only demonstrates how important deep learning techniques have become for almost every area of research, it also shows the importance of scientific transparency. Without the efforts of countless researchers around the globe who published their work and complemented it with code repositories and extensive documentation, some of the presented applications could not have been implemented. This reminds us: An active deep learning community is vital for the success of innovative data processing routines and with that, forms the foundation of a steady evolution powered by scientific research.

We would like to thank everyone who participated in this workshop, especially the authors and presenters who contributed to the success of this novel format.

Keywords: Convolutional Neural Networks; Evaluation; Data Sets; Ophtalmology; Human Pose Estimation; Acoustic Event Classification; Actor-Critic Architectures; Word Embeddings

[1] Technische Universität Chemnitz, Junior Professorship Media Computing, Straße der Nationen 62, 09111 Chemnitz, Germany firstname.lastname@informatik.tu-chemnitz.de

doi:10.18420/in2017_213

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 2143

Training a deep policy gradient-based neural network with asynchronous learners on a simulated robotic problem

Winfried Lötzsch[1], Julien Vitay[1] and Fred H. Hamker[1]

Abstract: Recent advances in deep reinforcement learning methods have attracted a lot of attention, because of their ability to use raw signals such as video streams as inputs, instead of pre-processed state variables. However, the most popular methods (value-based methods, e.g. deep Q-networks) focus on discrete action spaces (e.g. the left/right buttons), while realistic robotic applications usually require a continuous action space (for example the joint space). Policy gradient methods, such as stochastic policy gradient or deep deterministic policy gradient, propose to overcome this problem by allowing continuous action spaces. Despite their promises, they suffer from long training times as they need huge numbers of interactions to converge. In this paper, we investigate in how far a recent asynchronously parallel actor-critic approach, initially proposed to speed up discrete RL algorithms, could be used for the continuous control of robotic arms. We demonstrate the capabilities of this end-to-end learning algorithm on a simulated 2 degrees-of-freedom robotic arm and discuss its applications to more realistic scenarios.

Keywords: deep learning; reinforcement learning; robotics; policy gradient methods; actor critic; asynchronous learning; continuous action space

1 Introduction

Reinforcement learning (RL, [SB98]) is an important learning method used since decades in many control problems, including robotics, to map states into actions, in order to maximize the amount of reward received on the long-term. This state-action mapping can even be performed through function approximators such as neural networks. However, deep neural networks suffer from highly temporally correlated training samples and non-stationary objective functions, which are inherent to RL. This prevented the use of complex multidimensional state spaces such as raw images in deep RL and limited its applicability to tasks where the sensors could be efficiently pre-processed and reduced to a limited number of states. [Mn15] proposed a solution to this problem by introducing an *experience replay memory*, where episodes are stored and randomly fed in mini-batches to the neural network, as well as the use of *target networks* to increase the stationarity of the objective function. This *Deep Q Network* (DQN) was applied on a series of Atari 2600 games and managed to learn successfully efficient strategies with pixels as inputs and discrete actions as policy.

[1] Technische Universität Chemnitz, Professur für Künstliche Intelligenz, Str. der Nationen 62, 09111 Chemnitz, Deutschland. {winfried.loetzsch,julien.vitay,fred.hamker}@informatik.tu-chemnitz.de

doi:10.18420/in2017_214

However, DQN can only be applied to problems with discrete action spaces (DAC), such as pressing left or right buttons, or initiating complex motor primitives. For control problems requiring continuous action spaces (CAS, for example the joint space of robotic arms), discretizing the action space does not work well, as a fine-grained discretization of outputs would require an excessive amount of exploration [Zh15]. Alternatively, deep networks can be used as a submodule of the complete system: [Le16] for example used a deep network that predicts the probabilities of success of grasping attempts. This probability is then used by a separate control algorithm to generate the optimal action.

End-to-end deep RL approaches called *policy gradient* methods have recently received a lot of attention since they allow to directly learn continuous policies from high dimensional state spaces. One major issue being ensuring a sufficient level of exploration during learning, these methods either focus on learning stochastic policies [He15], which are by definition able to explore different actions during learning, or on learning deterministic policies, but exploring using a separate behavior (e.g. deep deterministic policy gradient - DDPG [Si14, Li15]). Although policy gradient methods have been successfully applied to the control of robotic arms, they require huge amounts of training data to converge (*sample complexity*). A simple but expensive solution is to use multiple robots exploring in parallel and sharing asynchronously their experiences in a common pool, which is then used to train a single neural network [Le16, Gu17]. Multiplying robots reduces the acquisition time, but does not impact the learning properties.

In the discrete domain, [Mn16] introduced the idea of using multiple parallel learners sharing their acquired knowledge, not just experiences, with each other. Their asynchronous advantage actor-critic (A3C) algorithm has been shown to be both superior in performance and in training time to the classical DQN algorithms on a variety of tasks. In this paper, we combine the idea of multiple parallel learners of [Mn16] with the DDPG algorithm of [Li15] to form a new asynchronously parallel continuous control learning algorithm. Additionally, the sample complexity of the algorithm is further reduced by pre-training an internal model of the effector. We apply it to a simple reaching task with a simulated robotic arm with 2 degrees-of-freedom, using raw pixels as inputs and joint angles as continuous outputs, and discuss its applicability to more complex problems.

2 Background and related work

We start by explaining the general problem of RL and setting the notations in section 2.1. We present deterministic policy gradient algorithms in section 2.2, as they allow to solve RL problems with continuous action spaces. Finally, we present asynchronous methods in section 2.3 which allow to train multiple actor-critic learners in parallel and reduce the overall training time.

2.1 Basics of RL

Reinforcement learning problems are modeled as *Markov Decision Processes* (MDP), with a state space $\mathcal{S}$, an action space $\mathcal{A}$, a transition dynamics model with density $p(s_{t+1}|s_t, a_t)$ and a reward function $r(s_t, a_t) : \mathcal{S} \times \mathcal{A} \rightarrow \mathfrak{R}$. The policy is defined as a mapping of the state space into the action space: a stochastic policy $\pi_\theta : \mathcal{S} \rightarrow P(\mathcal{A})$ defines the probability distribution $P(\mathcal{A})$ of performing an action, while a deterministic policy $\mu_\theta(s_t)$ is a discrete mapping of $\mathcal{S} \rightarrow \mathcal{A}$. $\theta \in \mathfrak{R}^n$ is a vector of parameters defining the policy, typically the weights of a neural network when using function approximators.

The policy can be used to explore the environment and generate trajectories of states, rewards and actions. The performance of a policy is determined by calculating the *expected discounted return*, i.e. the sum of all rewards received from time step t onwards: $R_t = \sum_{k=0}^{\infty} \gamma^k \, r_{t+k+1}$, where $0 < \gamma < 1$ is the discount rate and r_{t+1} represents the reward obtained during the transition from s_t to s_{t+1}. The Q-value of an action a is defined as the expected discounted reward if the agent takes a from a state s and follows the policy distribution π_θ thereafter:

$$Q^{\pi_\theta}(s, a) = \mathbb{E}_{\pi_\theta}(R_t | s_t = s, a_t = a) \tag{1}$$

The goal of the agent is to find the optimal policy maximizing the expected return from every state. *Value-based* methods (such as DQN) achieve that goal by estimating the Q-value of each state-action pair. Discrete algorithms transform these Q-values into a stochastic policy by sampling from a Gibbs distribution (softmax) to obtain the probability of choosing an action. The Q-values can be approximated by a deep neural network, by minimizing the quadratic error between the predicted Q-value $Q^{\pi_\theta}(s, a)$ and an estimation of the real expected return R_t after that action. Alternatively, *policy gradient* methods directly learn to produce the policy (stochastic or not). The goal of the neural network is then to maximize the objective function $J(\theta) = \mathbb{E}_{\pi_\theta}(R_t)$, i.e. to maximize directly the expected discounted return by finding the optimal policy.

2.2 Continuous action spaces

The *stochastic policy gradient theorem* [Su99] provides an estimate of the gradient that should be given to the neural network in policy gradient methods, but it depends on the unknown Q-value $Q^{\pi_\theta}(s, a)$. $Q^{\pi_\theta}(s, a)$ could be approximated by the actual return R_t after that action, leading to the REINFORCE learning rule [Wi92]. Another option is to use a second neural network to learn to approximate the Q-value. Such algorithms are called *actor-critic* architectures, as the actor learns to produce a policy π_θ based on the state alone, while the critic learns to evaluate the Q-value of an action and sends this value to the actor to improve the policy.

The deterministic policy gradient (DPG) method proposed by [Si14] is an example of such an actor-critic architecture. The main novelty is that the actor produces a deterministic policy $\mu_\theta(s_t)$, what reduces the sample complexity and improves the training time. Exploration is ensured by using an *off-policy* strategy, i.e. the actions actually taken are chosen by a behavioral stochastic policy, different from the learned policy. [Si14] derived the *deterministic policy gradient theorem* allowing the deterministic actor to learn in this framework. [Li15] were able to use deep networks with the DPG architecture. The resulting deep deterministic policy gradient (DDPG) algorithm is model-free, as it simply follows the gradient of the Q-values, and thus can be applied independently from the systems dynamics. DDPG has been successfully applied to a huge variety of continuous control problems, including learning from raw pixels, and beats state-of-the-art performance on many of them.

2.3 Asynchronous methods

A rather practical problem originates from how the sample data is presented during the learning phase. The straightforward way would be to immediately process the sample data as it arrives from the simulated environment. However, robotics environments induce strong correlations between samples that are temporally close to each other, since a robot might behave very similarly in close situations. This means that the variance of the trained estimator will be very high, negatively affecting the training performance of the deep network. A standard method to reduce sample correlation is experience replay, where one basically stores each sample in a buffer for a while and then randomly samples from the buffer to increase the variability of the training data, at the cost of slowing down the learning process. This is the approach chosen by [Li15] for the DDPG algorithm.

Another way to effectively overcome the problem of data correlation is to execute multiple instances of the environment in parallel, by simultaneously running several simulations or even using many similar real robots [Le16, Gu17]. [Mn16] has shown that this idea is not only able to replace classical experience replay, but even outperforms its benefits. The diversity of the sample data produced by the threads executed in parallel can be further increased by chosing different exploration rates and starting conditions for the threads. Each thread independently uses an online learning method to compute updates of the network weights, which have to be synchronized during training. By weighting the updates with a relatively small learning rate and accumulating some updates before synchronization, one can reduce the risk to override changes from other threads and thus use a lock-free algorithm such as Hogwild! [Ni11]. The resulting algorithm, asynchronous advantage actor-critic (A3C), can replicate or even improve state-of-the-art performance on many different experiments while learning much faster.

3 Methods

We first present the simulated environment in section 3.1, followed by the architecture of the network (section 3.2), the learning procedure (section 3.3), a summary of the algorithm (section 3.4) and the reward function used for the simulated environment (3.5).

3.1 Simulated robotic arm

As a proof of concept, we chose to control a simulated arm with two degrees-of-freedom, where the gripper of the robotic arm, which is basically the end point of the last arm segment, should be guided to reach a target. The original idea stems from the OpenAI Reacher problem [2] and has been reproduced in essence using matplotlib for licensing reasons. Our experiments for this paper restrict to the 2D space and only use two arm segments with two degrees of freedom. The input to the network is a 84x84 grayscale image and its outputs control changes of the two joint angles with continuous values. Fig. 1 illustrates the simulation environment and the underlying physical states. The generated images include a white dotted background to make the vision task more difficult. Important parts in the image such as the segments of the arm and the target are displayed as bright spots in the images and correspond to a high activation of the networks' input neurons.



Fig. 1: Physical states of the robot arm in the two-dimensional space with two degrees of freedom.

3.2 Architecture

The actor-critic architecture of our algorithm is partially based on the A3C algorithm [Mn16]. As the algorithm should work on raw pixels, the first layers of both the actor and the critic are convolutional, but without pooling as the spatial information is critical for the task here. It proved difficult to directly train the complete network as convolutional layers need many samples to converge. We settled for a hybrid approach, where the convolutional layers were first trained to reproduce the physical states in a supervised manner, which consist of the arm segments angles and the target position (4 variables in our simulated task). After training, the *internal model* can predict the physical state for a given image, which is then used as an input for the actor and the critic. The complete architecture is depicted in Fig. 2.

[2] `https://gym.openai.com/envs/Reacher-v1`

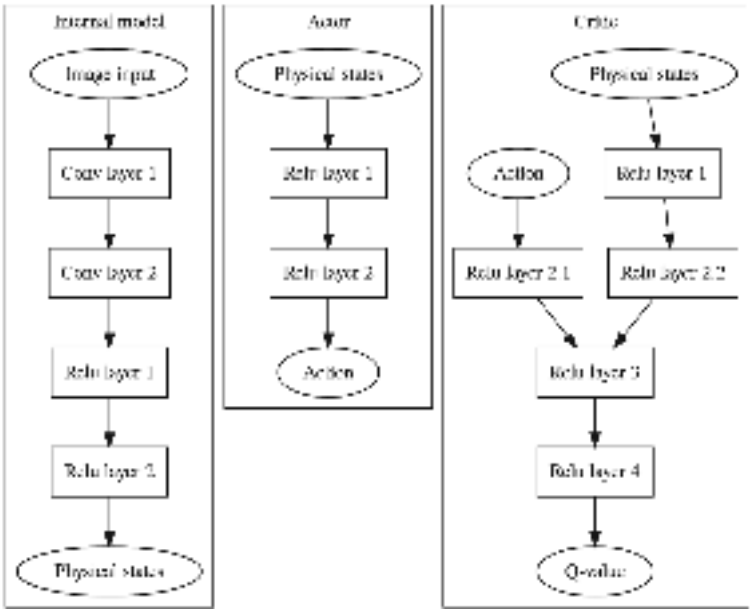


Fig. 2: Architecture of the complete network model. The internal model transforms the visual information into a physical state representation. The actor outputs an action sampled from the continuous action space for a given state. The critic receives state and generated action as input and outputs the action value.

The internal model uses two convolutional layers: the first convolutional layer has 8 filters and a kernel size of 4x4, whereas the second one has 32 filters with a kernel size of 6x6. The two following fully connected layers extract information about the physical states of the arm and the target position: they are composed of rectified linear units with 90 and 50 neurons respectively. The output layer consists of 4 neurons with hyperbolic tangent activation functions to model the physical states.

The actor network is used to predict an action, which is a two-dimensional vector in our setup, defining the two components of the desired angular motion for the first and the second segment of the arm respectively. At each step, each arm segment can be maximally moved by 2 degrees in either direction, where the actions are scaled to the interval $[-1, 1]$. The output layer has only two neurons with hyperbolic tangent activation functions. Both hidden layers of the actor model consist of 200 rectified linear units. The critic has only one linear output neuron, which represents the Q-value for the combined two-dimensional movement vector passed into the network. An action chosen from the continuous action space is seen as a transition from one position of the gripper to another. All hidden layers of the critic consist of 200 rectified linear units.

3.3 Learning procedure

The learning procedure is organized into episodes, where the initial arm position and the target position are randomly selected at the beginning. At each time step, the input image is fed into the internal model, which outputs a prediction of the state variables s_t. It is then fed into the actor, which outputs a continuous action $\mu(s_t)$. The selected action a_t is the sum of this action and of a random variable taken from an Ornstein Uhlenbeck process ($\mu = 0$, $\theta = 0.3$ and $\sigma = 0.4$). This additive noise encourages exploration, as the learned policy is deterministic.

The critic Q with weights θ_Q can be trained with classical Q-learning [SB98]: after each action, the expected return is approximated with $R_t = r_t + \gamma Q'(s_{t+1}, \mu'(s_{t+1}))$. This target value for the critic is then saved in a buffer together with the state s_t and the action a_t, as the neural network is trained in minibatches of 5 steps:

$$\mathcal{L}(\theta_Q) = \sum_{t=1}^{5} [r_t + \gamma Q'(s_{t+1}, \mu'(s_{t+1})) - Q(s_t, a_t)]^2 \tag{2}$$

Equation 2 uses a Q-value prediction for the next state-action pair $Q'(s_{t+1}, \mu'(s_{t+1}))$ which depends on the output of both the actor (for the next action) and the critic (for its Q-value). Since [Mn15], it is known that training stability can be improved by not using the current weights of the networks to perform this prediction, but those from an older version: the *target network*. Target networks for both the actor μ' and the critic Q' are used to estimate the expected return R_t (Eq. 2). Contrary to the classical approach [Mn15], the target networks will not be updated after a certain amount of training steps, but gradually replicate the changes made to the actor and critic, as in [Li15]:

$$\theta' \leftarrow \tau\, \theta + (1 - \tau)\, \theta' \tag{3}$$

The update rate for the target networks is set to a relatively low value of $\tau = 0.001$. Early experiments showed that a higher update rate in combination with the continuous reward function would lead to fast rising Q-values, which means very high output values from the critic and unstable learning. The deterministic policy gradient algorithm of [Li15] is finally used to train the actor μ with minibatches of 5 steps:

$$\nabla_{\theta_\mu} J(\theta_\mu) = \sum_{t=1}^{5} \nabla_a Q(s_t, \mu(s_t)) \nabla_{\theta_\mu} \mu(s_t) \tag{4}$$

There are 16 parallel learners exploring the environment with different initial configurations, all updating simultaneously the same actor and critic networks as in [Mn16]. Instead of having

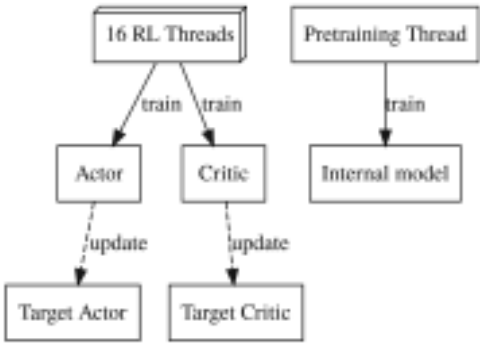


Fig. 3: Summary of the parallel learning process. A single thread pre-trains the internal model, whereas 16 threads run the reinforcement learning based training for the actor and critic in parallel. Actor and critic networks slowly update their respective target networks at each time step.

an episode split into minibatches of 5 steps, what would generate highly correlated inputs, the networks therefore receive small minibatches coming randomly from 16 uncorrelated environments. This could be seen as a distributed experience replay memory and greatly improves the convergence of the networks. Ideally, the parallel learners should update the networks after each step, but the risk of collision between the threads would become too important. Fig. 3 summarizes the parallel execution of the algorithm.

3.4 Overview of the algorithm

The algorithm executed by each parallel learner during a single episode is described in List. 1. The network has been implemented using the tensorflow library and simulated on a shared-memory system with 16 cores and 8 Tesla K20m GPUs. The training of the internal model works faster on the GPU, because larger batch sizes can be used and thus training can be more effectively parallelized by tensorflow. The Adam learning rule is used [KB14] to train all networks, with a learning rate of 10^{-4} for the actor and critic networks, and $8 \cdot 10^{-4}$ for the internal model. As the network structure is very similar to [Li15], most of the weight initialization parameters and learning rates were preserved. To limit the increase of the Q-values during training, an L2 regularization penalty (coefficient 0.02) is introduced for the weights to the output neuron of the critic. A discount factor of 0.97 is used, as episodes last maximally 1000 steps.

3.5 Reward function

The environment returns a reward for each executed action, consisting of two parts: a distance-related part and a control part. To effectively control the gripper, one would like

```
while t < 1000 do
    Execute action a_t according to policy μ(s_t) + εN
    Receive reward r_{t+1} and observe new state s_{t+1}
    Compute R_t = { r_{t+1} + γ · Q'(s_{t+1}, μ'(s_{t+1})) if not terminal
                  { r_{t+1} otherwise.
    Store (s_t, a_t, R_t) in buffer
    if t % 5 == 0 then
        Update critic: L(θ_Q) = Σ_{i=1}^{5} (R_i − Q(s_i, a_i))^2
        Update actor: ∇_{θ_μ} J(θ_μ) = Σ_{i=1}^{5} ∇_{μ(s_i)} Q(s_i, μ(s_i))) ∇_{θ_μ} μ(s_i)
        Update target critic: θ_{Q'} ← τθ_Q + (1 − τ)θ_{Q'}
        Update target actor:  θ_{μ'} ← τθ_μ + (1 − τ)θ_{μ'}
        Empty buffer
    end if
    t = t+1
end while
```

List. 1: Algorithm for each actor learner per episode. The outer loop is broken when the target is reached.

to reward actions getting the gripper closer to the target as fast as possible. The distance-related part provides reward based on the distance between the gripper and the target: $r_{dist} = e^{-|x_{gripper} - x_{target}|}$. If we only use this reward, a possible strategy for the algorithm is to circle around the target until the end of the episode, without reaching it: this way it gathers as much reward as possible, as experimentally observed. So we added a control term $r_{ctrl} = |x_{gripper-old} - x_{target}| - |x_{gripper} - x_{target}|$ which rewards the algorithm if the arm endpoint is closer to the target after the action than before, and punishes it otherwise. The total reward is the product of these two terms $r = r_{ctrl} \cdot r_{dist}$ and is normalized to the interval $[-1, 1]$. When r_{dist} falls below 0.1, which is sufficiently small as both axes of the simulated environment reach from -1 to 1, the episode is considered as terminated.

4 Results

For each experiment, we used 2,500,000 samples to train the internal model and 1,200,000 steps for the asynchronous reinforcement learning algorithm. Evaluation was then conducted over 500 episodes with random starting conditions and the percentage of successful episodes was monitored. An episode is considered successful when the gripper reaches the target within 1000 steps. An important point besides proving that the network architecture is able to solve the robotic problem was to investigate the influence of the convolutional layers on the performance of the model. Therefore, we performed the whole learning and evaluation

Architecture	Background noise	Action noise	Successful episodes
2 conv layers	no	no	57 %
2 conv layers	yes	no	55 %
2 conv layers	no	yes	**77** %
2 conv layers	yes	yes	67 %
1 conv layer	no	no	45 %
1 conv layer	yes	no	34 %
1 conv layer	no	yes	65 %
1 conv layer	yes	yes	61 %
no conv layers	no	no	31 %
no conv layers	yes	no	29 %
no conv layers	no	yes	60 %
no conv layers	yes	yes	59 %

Tab. 1: Experimental results. Percentage of successful episodes (target reached before 1000 steps) when varying the number of convolutional layers in the internal model, the presence of a noisy background in the image and the presence of additive noise in the action selection.

process for two different environments, with or without background noise in the image. Furthermore, we tested one internal model with the last convolutional layer replaced by a fully connected layer with 200 rectified linear units and another with both convolutional layers replaced by feed-forward layers consisting of 200 rectified linear units each.

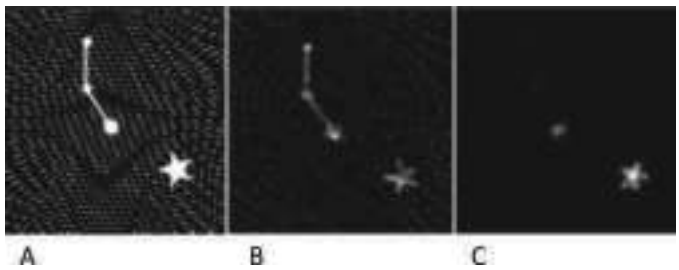


Fig. 4: Convolutional layers are trained to effectively remove background noise and focus on specific features. A: Input to the first convolutional layer with background noise. B: Output of one neuron of the first convolutional layer. C: Output of one neuron of the second convolutional layer selective for the target position.

The experimental results showed in Tab. 1 confirm that using convolutional layers effectively eliminates background noise such as the white spots spread in the image. The performance during evaluation without additive noise in the action selection and with two convolutional layers only slightly decreased by 2 % from 57% to 55%, when adding the background noise. Figure 4-C illustrates this observation, as the background noise disappears in the second convolutional layer. The figure also shows the ability of convolutional layers to extract only relevant information from the image like the target position and thus adapt to the specific task. In contrast, the performance substantially decreases, when no convolutional layers or

only one is used, independent of the presence of different kinds of noise. This confirms the importance of convolutions to process visual input.

The best performance of 77% was reached when the actions generated from the actor during evaluation were not directly executed, but additional noise sampled from an Ornstein-Uhlenbeck process was added as during training. Analysis of the videos showed that most of the unsuccessful episodes failed because of the inaccurate identification of the physical states by the internal model, which means that the arm reaches for a target with a relatively small offset from the real target. Figure 5 illustrates the problem. The reinforcement learning process directly on the real physical states however reaches a high success rate over 90%.



Fig. 5: Movement of the gripper for two successful episodes (first two pictures) and two failed attempts (last two pictures). The brighter the color of a point, the later the gripper was at that position during the episode.

Videos showing a random selection of 50 successful episodes and 5 failed episodes can be found on Youtube[3]. The unsuccessful episodes last much longer, because they exploit all possible 1000 steps and thus less are recorded. The simulated arm with its two segments is shown in its random starting position together with the position of the target. All movements of the arm are shown, which either lead to the successful end of an episode as the gripper reaches the target or a failed episode, when the gripper does not reach the target after 1000 steps. The videos consist of screenshots taken from the environment at regular intervals. Both were generated from an actor trained on environments without background and with two convolutional layers. There was no random noise added during the action selection.

5 Discussion

We proposed to extend the deep deterministic policy gradient algorithm [Li15] with asynchronous parallel learners [Mn16] to allow end-to-end learning in continuous action spaces from raw pixels. We applied this novel algorithm to a simplified continuous control task, with a simulated 2-DOF robotic arm and showed that it is able to achieve a satisfying performance. We also further reduced the sample complexity of the algorithm by pretraining an internal model whose role is to transform images into abstract representations. The algorithm therefore combines a model-free actor-critic architecture with a model-based internal model, what could prove beneficial for problems where such models can be learned.

[3] `https://youtu.be/PTdfxGde69s` and `https://youtu.be/u8aMe6M9jMI`

However, analysis of failed trials shows that wrong state estimations by the internal model are the main source of failure in our setup. Future work will address improving the state representation needed by the actor-critic: the four variables used here may represent a too strong bottleneck for the architecture and intermediate representations could improve the performance of the algorithm.

Acknowledgments: This work was supported by the DFG Major Research Instrumentation Programme (INST 270/221-1 FUGG).

References

[Gu17] Gu, S.; Holly, E.; Lillicrap, T.; Levine, S.: Deep Reinforcement Learning for Robotic Manipulation with Asynchronous Off-Policy Updates. In: Proc. ICRA. 2017.

[He15] Heess, N.; Wayne, G.; Silver, D.; Lillicrap, T.; Tassa, Y.; Erez, T.: , Learning continuous control policies by stochastic value gradients, 2015.

[KB14] Kingma, D.; Ba, J.: Adam: A Method for Stochastic Optimization. In: Proc. ICLR. pp. 1–13, 2014.

[Le16] Levine, S.; Pastor, P.; Krizhevsky, A.; Quillen, D.: Learning Hand-Eye Coordination for Robotic Grasping with Deep Learning and Large-Scale Data Collection. In: Proc. ISER. 2016.

[Li15] Lillicrap, T.P.; Hunt, J.J.; Pritzel, A. et al.: Continuous control with deep reinforcement learning. CoRR, 2015.

[Mn15] Mnih, V.; Kavukcuoglu, K.; Silver, D. et al.: Human-level control through deep reinforcement learning. Nature, 518(7540):529–533, feb 2015.

[Mn16] Mnih, V.; Badia, A.P.; Mirza, M. et al.: Asynchronous Methods for Deep Reinforcement Learning. In: Proc. ICML. feb 2016.

[Ni11] Niu, F.; Recht, B.; Re, C.; Wright, S.J.: HOGWILD!: A Lock-Free Approach to Parallelizing Stochastic Gradient Descent. 1, p. 21, 2011.

[SB98] Sutton, R.S.; Barto, A.G.: Reinforcement learning: An introduction, volume 28. MIT press, 1998.

[Si14] Silver, D.; Lever, G.; Heess, N.; Degris, T.; Wierstra, D.; Riedmiller, M.: Deterministic Policy Gradient Algorithms. In (Xing, Eric P; Jebara, Tony, eds): Proc. ICML. volume 32 of Proceedings of Machine Learning Research, PMLR, Bejing, China, pp. 387–395, 2014.

[Su99] Sutton, R.S.; McAllester, D.A; Singh, S.P.; Mansour, Y.: Policy Gradient Methods for Reinforcement Learning with Function Approximation. In: Neural Inf. Process. Syst. 12. pp. 1057–1063, 1999.

[Wi92] Williams, R. J.: Simple statistical gradient-following algorithms for connectionist reinforcement learning. Mach. Learn., 8:229–256, 1992.

[Zh15] Zhang, F.; Leitner, J.; Milford, M.; Upcroft, B.; Corke, P.: Towards Vision-Based Deep Reinforcement Learning for Robotic Motion Control. In: Proc. Acra. 2015.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 2155

Evaluating the Impact of Word Embeddings on Similarity Scoring in Practical Information Retrieval

Lukas Galke[1,2], Ahmed Saleh[1,2] and Ansgar Scherp[1,2]

Abstract: We assess the suitability of word embeddings for practical information retrieval scenarios. Thus, we assume that users issue ad-hoc short queries where we return the first twenty retrieved documents after applying a boolean matching operation between the query and the documents. We compare the performance of several techniques that leverage word embeddings in the retrieval models to compute the similarity between the query and the documents, namely word centroid similarity, paragraph vectors, Word Mover's distance, as well as our novel inverse document frequency (IDF) re-weighted word centroid similarity. We evaluate the performance using the ranking metrics mean average precision, mean reciprocal rank, and normalized discounted cumulative gain. Additionally, we inspect the retrieval models' sensitivity to document length by using either only the title or the full-text of the documents for the retrieval task. We conclude that word centroid similarity is the best competitor to state-of-the-art retrieval models. It can be further improved by re-weighting the word frequencies with IDF before aggregating the respective word vectors of the embedding. The proposed cosine similarity of IDF re-weighted word vectors is competitive to the TF-IDF baseline and even outperforms it in case of the news domain with a relative percentage of 15%.

Keywords: Word embeddings; Document representation; Information retrieval

1 Introduction

Word embeddings have become the default representation for text in many neural network architectures and text processing pipelines [BCV13; Be03; Go16]. In contrast to the typical bag-of-words representations, word embeddings are capable of capturing semantic and syntactic relations between the words [Mi13; PSM14]. So far, they have been successfully employed in various natural language processing tasks such as word analogies, clustering, and classification [BA16; Ku15; Mi13; PSM14]. Word embeddings are recognised as the main reason for natural language processing (NLP) breakout in the last few years [Go16]. Word vectors can be considered a latent semantic representation for heterogeneous textual data.

A word embedding is a distributed vector representation for words [Mi13]. Each word is represented by a low-dimensional (compared to the vocabulary size) dense vector, which

[1] ZBW – Leibniz Information Centre for Economics, Kiel and Hamburg, Germany, {L.Galke, A.Saleh, A.Scherp}@zbw.eu
[2] Knowledge Discovery, Department of Computer Science, Kiel University, Kiel, Germany

doi:10.18420/in2017_215

is learned from raw text data. In several natural language processing architectures such as neural networks these representations serve as first layer for the conversion from raw tokens (words) to a more useful representation. The property that semantically related terms are clustered close to each other in the representation space proves the usefulness of this approach for classification and other NLP tasks. However, transferring the success of word embeddings to the ad-hoc Information Retrieval (IR) task is currently an active research topic. While embedding-based retrieval models could tackle the vocabulary mismatch problem by making use of the embedding's inherent similarity between distinct words, most of them struggle to compete with the prevalent strong baselines such as TF-IDF [SB88] and BM25 [Ro92].

The majority of practical information retrieval systems rely on an extended boolean model [MRS08; SFW83]. Extended boolean models generalize both standard boolean models and vector space models. These extended boolean models are highly efficient, since the documents can be stored in an inverted index [MRS08]. Thus, the IR system stays responsive even if a huge amount of documents is indexed. Those practical IR systems employ a binary matching operation on the inverted index to reduce the set of documents, to which the similarity of the query is computed (see Figure 1). We consider a practical ad-hoc IR task which is composed of two steps, matching and scoring [MRS08]. In the matching step, documents of the corpus are matched against a query. Typically, this is conducted by (binary) term co-occurrence, i. e., either the document contains at least one term of the query or not (boolean `OR` query). In the scoring step, the matched documents are ranked according to their relevance to the query. As these core IR tasks are different from other NLP tasks, the incorporation of word embeddings is challenging. Since we evaluate the suitability of embedding-based retrieval models in a practical context, we keep the matching operation fixed for all experiments and concentrate on investigating the impact of the similarity scoring operation. Additionally, we restrict ourselves to purely unsupervised models, i. e., we do not employ any relevance information. Please note that every retrieval model can in principle be improved by using query-relevance information. We also do not employ pseudo-relevance feedback since it is typically not applied in a practical IR setting [1].

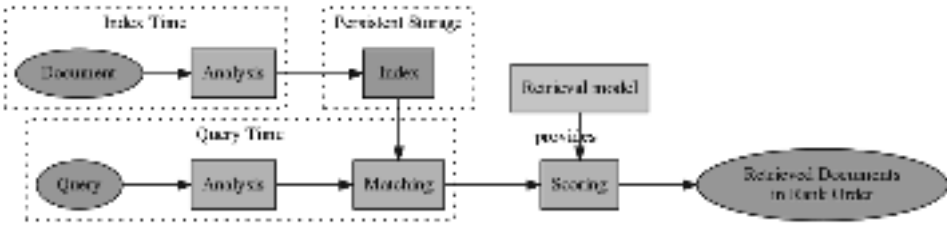


Fig. 1: A simplified information retrieval system.

In this paper, we compare and evaluate several similarity metrics for query-document pairs using word embeddings and assess their suitability in a practical IR setting. The considered

[1] Pseudo-relevance feedback is not included in Apache Lucene, thus SOLR and Elasticsearch

approaches are word centroid similarity, a novel IDF re-weighted variant of word centroid similarity, Word Mover's distance [Ku15], and paragraph vectors [LM14]. Practical IR systems allow treating the fields (`title`, `full-text`, `date`, ...) of a document differently. Thus, we analyze whether the performance of the embedding-based techniques depends on document length. In summary, we will answer the following research questions: *(1) Which embedding-based techniques are suitable for practical information retrieval? (2) How does their performance depend on the document's field, i. e. title vs full-text?*

The remainder is organized as follows: Subsequently, we discuss the related work. We describe our novel IDF re-weighted aggregation of word vectors and the associated word centroid similarity in Section 3. In Section 4, we describe the experiments and report the results in Section 5. We discuss our experimental results in Section 6, before we conclude.

2 Related Work

Extended boolean models such as TF-IDF [SB88] and Okapi BM25 [Ro92] rely on bag-of-words representations, re-weighted by inverse document frequency. While still considered as strong baselines, these models (along with others) struggle to deal with two typical difficulties of the IR task: *term dependencies* and *vocabulary mismatch* [MRS08]. The former means the independence assumption of terms does not hold in natural language, the latter describes the problem of disregarding semantically related terms, when exact matching fails. There are several probabilistic models that rely on language modeling. The documents are ranked either by each document language model's probability of generating the query or by the probability of generating the document, given the query language model [BBL99; Hi98; MLS99; PC98]. The divergence from randomness retrieval model was shown to outperform BM25 consistently on several TREC collections [AR02]. The idea of distributed representations for documents goes back to singular value decomposition of the term-document matrix. It was extended with a probabilistic variant by Hofmann [Ho99]. Finally, Blei et al. [BNJ03] proposed the probabilistic topic model Latent Dirichlet Allocation (LDA) in 2003. Bengio et al. [Be03] first introduced a statistical language model based on neural networks, so-called neural net language models. These language models form the basis for word embeddings learned by a neural network. Mikolov et al. [Mi13] proposed a neural network based word embedding (Word2Vec), in which the representations are learned by training to reconstruct each word's context (skip-gram model). The success of the Word2Vec model relies on skip-gram training with negative sampling, an efficient training algorithm (not involving dense matrix multiplication). Beside other word embeddings [CW08; MH08; TRB10], it is notable that a word embedding can also be computed by directly factorizing the global co-occurrence matrix as done with GloVe [PSM14]. Le and Mikolov [LM14] further extended the Word2Vec approach by adding representations of whole documents by paragraph vectors (Doc2Vec). Their experiments indicate that these distributed representations are useful for information retrieval tasks. However, the evaluation task is to find one relevant document out of three (given 80%

training data), which is not a classical ad-hoc query task. Clinchant and Perronnin [CP13] proposed a method for aggregating word vectors with the Fisher kernel to a document level. The authors applied their approach in ad-hoc retrieval outperforming Latent Semantic Indexing, but not TF-IDF or divergence from randomness. Zheng and Callan [ZC15] learn to re-weight word embeddings using BM25 in a supervised context. Kusner et al. [Ku15] proposed the Word Mover's distance, a similarity metric between documents based on word embeddings. Inspired by the Earth Mover's distance, the Word Mover's distances solves an optimization problem for the minimum cost of transportation between the words of two documents. The cost of moving from a single word to another is the cosine distance of their respective word vectors. Recently, Zamani and Croft [ZC16] proposed embedding based query language models, a dedicated retrieval technique based on word embeddings which thrives to tackle the vocabulary mismatch problem by incorporating word embeddings into query language models. They propose two methods for embedding-based query expansion as well as a method for embedding-based pseudo-relevance feedback.

3 IDF Re-weighted Aggregation of Word Vectors

In the following, we describe how word embeddings can be leveraged for information retrieval. The desired similarity score between the query and the documents can be obtained by aggregating the word vectors to their centroid and computing the cosine distance.

Word centroid similarity (WCS) Given the term occurrence matrix $\boldsymbol{X} \in \mathbb{R}^{n \times k}$ (n documents over a vocabulary of k words) and a word embedding $\boldsymbol{W} \in \mathbb{R}^{k \times h}$ with word vectors of size h. The value X_{ij} is the number of occurrences of word j in document i. The row j of matrix $\boldsymbol{W}$ is the word vector corresponding to column j of $\boldsymbol{X}$. To compute the centroids, we first normalize each row i of $\boldsymbol{X}$ to unit L2-norm (nBOW representation). Then, we obtain the word centroid representation of the documents by matrix multiplication $\boldsymbol{C} = \boldsymbol{X} \cdot \boldsymbol{W}, \boldsymbol{C} \in \mathbb{R}^{n \times h}$. Now, the cosine similarity of the query to the centroids provides a notion of similarity:

$$\mathrm{WCS}(q, i) = \frac{\left(\boldsymbol{q}^T \cdot \boldsymbol{W}\right) \cdot \boldsymbol{C}_i}{\left\|\boldsymbol{q}^T \cdot \boldsymbol{W}\right\| \cdot ||\boldsymbol{C}_i||}$$

The employed norm $||\cdot||$ is the L2-norm. Given a query, the documents are ranked by descending cosine similarity to the query. In case of length-normalized word frequency vectors, the resulting ranking of word centroid similarity is equivalent to the one of word centroid distance mentioned by Kusner et al. [Ku15].

As an example for the desired benefit of employing a word embedding, consider a document containing a high amount of occurrences of the word `automobile` and query consisting of the term `car`. The document would be scored by the TF-IDF retrieval model relatively low since the term `car` does not occur frequently in the document. WCS would score the

document higher because the vector representations for `car` and `automobile` are close to each other in the embedding space (cosine similarity of .58 in the considered Word2Vec model).

IDF re-weighted word centroid similarity (IWCS) In addition, we propose a novel variant of the WCS, where the documents' bags of words are re-weighted by inverse document frequency as in TF-IDF, before the centroids are computed. Consider a bag-of-words representation $\boldsymbol{X}$ of the documents, where X_{ij} corresponds to the number of occurrences of word i in document j. We first re-weight $\boldsymbol{X}$ with respect to inverse document frequency:

$$X'_{ij} = X_{ij} \cdot \mathrm{idf}(j)$$
$$\mathrm{idf}(j) = \log \frac{1+n}{1+\mathrm{df}(D,j)}$$

The document frequency $\mathrm{df}(D, j)$ is the number of documents that contain word j. Then, we again normalize the rows of $\boldsymbol{X}$ to unit L2-norm and compute the centroids: $\boldsymbol{C} = \boldsymbol{X'} \cdot \boldsymbol{W}, \boldsymbol{C} \in \mathbb{R}^{n \times h}$. Finally, we compute the cosine similarity to the query and rank the results in descending order (as in the WCS case).

Re-ranking via Word Mover's distance (IWCS-WMD) The Word Mover's distance [Ku15] (WMD) is a distance metric between two documents. The cumulative cost of moving the words of one document to another document is minimized. The cost function for moving from one word to another is defined as the euclidean distance between the word vectors $c(i, j) = \left\|\boldsymbol{W_i} - \boldsymbol{W_j}\right\|_{\mathrm{L2}}$. For each query, we compute the WMD to all documents and rank the results in ascending order. In addition, we also evaluate a variant which takes the top k documents returned by IWCS and re-ranks them according to Word Mover's distance (IWCS-WMD).

4 Experimental Setup

We desribe the experimental setup and preprocessing, used datasets, and evaluation metrics. The data flow is visualized in Figure 2.

Tasks and Preprocessing Given a collection of documents D, a set of queries Q and relevance scores for each query-document pair $\mathcal{R} : Q \times D \rightarrow \mathbb{N}$ (the gold standard), the task is to return a ranked list of k (preferably) relevant documents. We evaluate these results according to $\mathcal{R}$. The values of $\mathcal{R}$ are restricted to binary $\{0, 1\} \subset \mathbb{N}$. Since we are interested in the performance of the retrieval models in a practical setting, we perform a disjunctive

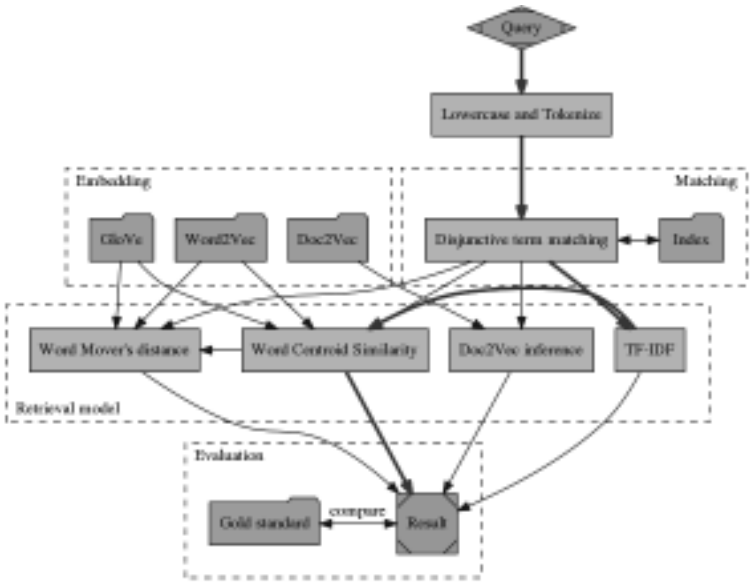


Fig. 2: Data flow graph for a single configuration. Folder shapes indicate persisent data. Rectangular shapes indicate methods and algorithms. Each path from query to result resembles a row in the result tables. As an example, IDF re-weighted Word Centroid Similarity is highlighted in bold (blue edges).

boolean matching operation and do not make any assumptions about the queries when indexing documents. Considering the analysis procedure of documents and queries, we use the same preprocessing steps for all retrieval models: First, we transform the raw string into lower case. Second, we tokenize the string by splitting it into words of at least two word-characters length, while treating any non-word character as delimiter. Finally, we remove common English stop words. To keep complexity under control, we do not apply stemming and only consider uni-gram models. Furthermore, we do **not** remove queries that contain out-of-vocabulary words. In this setting, we compare the performance of the embedding-based retrieval models with respect to the document fields `title`, `abstract`, and `full-text` using either short or long queries. We evaluate the embedding-based retrieval models WCS, IWCS, WMD, IWCS-WMD as described above. In addition, we evaluate paragraph vector (Doc2Vec) inferencing [LM14].

Datasets The *NTCIR2 dataset* [01] consists of 134,978 documents and 49 topics. The documents are composed of a `title` (e. g., "Development and Evaluation of Parallel Computer System Specific for Monte Carlo Device Simulation") and an `abstract` field. The topics consist of the fields `title`, `description` and `narrative`. From these we use the `title` as *short* query (such as "XML") and the `description` as *long* query (such as "Papers about natural language processing using XML"). Additionally, two sets of relevance scores are

provided that associate topics and documents (boolean). From these we chose the second set of relevance scores `rel2` with on average 43.6 (SD: 48.8) relevant documents per query. The relevance scores of the first set are always included in the second set. This results in a higher diversity for the ranking task. The relevancy judgments are not complete, i. e., there are as usual many query-document pairs for which no judgment is given. We assign these documents a relevancy of zero, when evaluating the models.

The *Economics dataset* consists of 61,792 scientific documents in the field of economics. It has 4,518 topics with an average of 72.98 (SD: 329) relevant documents per query. The documents consist of publications such as "The art of compromise" or "Contagious capitalism", As topics, we use the concepts of a thesaurus in economics, the Standard Thesaurus Wirtschaft[2] (STW) of ZBW. A concept in the STW thesaurus consists of one preferre, label and several alternative label. We employ the preferred labels of the concepts as queries (e. g., "sustainable energy supplies"). Each document of the collection is manually annotated (by domain experts) with a set of concepts. Hence, we consider a document being relevant to a topic, if and only if the document is annotated with the corresponding concept.

The *Reuters dataset* consists of 100,000 documents (random sample from Reuters RCV-1 [Le04]) and 102 topics from the news domain. The headlines of the news articles (e. g., "GERMANY: German institute sees slack consumer demand") are considered titles. The documents were manually annotated with one or more of the topics. On average, there are 3,143 (SD: 6,316) relevant documents per topic. Each document consists of a `title` and a `full-text` field. The descriptor label of a topic consists of two to three words (e. g., "energy markets", "crime, law enforcement"). We employ these descriptor labels as query. The assignment of the label to the document resembles relevancy.

Embedding Models Following the results of Mikolov et al. [Mi13] and Kusner et al. [Ku15], employing a well-trained general purpose embedding model is preferable over a corpus-specific model (caused by the surplus in diversity of contexts for each word during training). For this reason, and for the sake of a consistent comparison over the datasets, we employ pre-trained general-purpose word embeddings. Thus, the evaluation is not sensitive to the dataset and its specific training procedure (hyper-parameters are often sensitive to the training corpus). As representative for Word2Vec, we employ the popular `GoogleNews` model (300 dimensions trained on $100 \cdot 10^9$ tokens, vocabulary size of $3 \cdot 10^6$). For GloVe we employ a similar model (300 dimensions trained on $840 \cdot 10^9$ tokens of Common Crawl[3], vocabulary size of $2.2 \cdot 10^6$). As Doc2Vec model, we consult a model trained on Wikipedia articles with a vocabulary size of $3 \cdot 10^6$.

Please note, from pre-experiments we know that ignoring out-of-vocabulary words results in better overall performance than initializing them with random vectors or up-training the missing words (up to 100 epochs of up-training with unmodified original vectors).

[2] `zbw.eu/stw`

[3] A dataset of crawled web data from `https://commoncrawl.org/`

We can furthermore report, that the recently proposed All-but-the-Top embedding post-processing [MBV17] did not improve the retrieval results.

Evaluation Metrics We consider three evaluation metrics: mean average precision (MAP), mean reciprocal rank (MRR), and normalized discounted cumulative gain (NDCG). For all metrics, we limit the considered documents to the top $k = 20$ retrieved documents. This reflects the typical user behavior in a practical web search task. Let D be the set of documents, Q the set of queries, and $\mathcal{R} : Q \times D \to N$ the relevance score of a document for a query. Then a retrieval model can be described as $M : Q \to D^k, q \mapsto y$ with $y \in D^k$ being the top-k retrieved documents in rank order. Thus the multi-set of results for queries Q and a retrieval model M can be written as:

$$R_{M,Q} = \left\{ (\mathcal{R}(q, d))_{d \in M(q)} \mid q \in Q \right\}$$

For a proper definition of the metrics, we operate on the relevance scores $r \in R_{M,Q}$. Precision is defined as the fraction of retrieved documents that are relevant and number of retrieved documents: $\text{Precision}(r, k) = \frac{|\{r_i \in r | r_i > 0\}|}{k}$. The average precision (AP) is computed over the precision values, limited to the top $i = 1, \ldots, k$ retrieved documents: $\text{AP}(r, k) = \frac{1}{|r|} \sum_{i=1}^{k} \text{Precision}((r_1, \ldots, r_i), i)$. The *mean average precision (MAP)* is then aggregated over the query set Q. The reciprocal rank of a query's result is the fraction of the index of the first relevant document $\text{RR}(r) = \frac{1}{\min\{i | r_i > 0\}}$. In case none of the retrieved documents is relevant, the reciprocal rank is set to zero. The respective aggregation over the query set is the *mean reciprocal rank (MRR)*. We compute the *normalized discounted cumulative gain (NDCG)* for a single result list as follows: $\text{DCG}(r, k) = r_1 + \sum_{i=2}^{k} \frac{r_i}{\log_2 i}$, $\text{NDCG}_q(r, k) = \frac{\text{DCG}(r,k)}{\text{IDCG}_{q,\mathcal{R},k}}$ where $\text{IDCG}_{\text{q},\mathcal{R},\text{k}}$ is the best possible (ideal) DCG value for the specific query q with respect to the gold standard $\mathcal{R}$. In case there are more relevant documents than k, the IDCG is also computed on the truncated optimal results. We average NDCG over the queries.

5 Results

Considering the results for the *NTCIR2 dataset*, we inspect four configurations of either the `title` or the `abstract` field and either short or long queries (See Table 1). We observe that using the `title` field leads to better results in all metrics and for all techniques (except for Doc2Vec). In case of short queries, both variants of the Word Mover's distance (WMD, IWCS-WMD) perform consistently worse than IWCS as a query-document similarity (compare .41 to .35 and .38 to .30 MAP). In case of long queries and the `title` field, the IWCS-WMD with the GloVe model attained the highest MAP value .42, .02 higher than the one of the baseline and 0.01 higher than IWCS with the Word2Vec model. Still, in case of the `abstract` field, the MAP value of IWCS with the Word2Vec model (.36) is higher than the WMD re-ranked variants (.30 and .35, respectively). The TF-IDF baseline is outperformed by IWCS in terms of MAP in 3 out of 4 configurations. Still, the margin

is rather small (ranging from .01 to .02). In terms of MRR, the baseline could only be outperformed in one configuration by IWCS with a difference of .01. The NDCG values of the baseline are not reached by any embedding-based retrieval model.

Tab. 1: Results for the NTCIR2 dataset using either the title or the abstract field with respect to the evaluation metrics MAP, MRR, and NDCG, limited to $k = 20$ retrieved documents. The embedding-based retrieval models are used with Word2Vec (W2V) and Glove (GLV).

Field	`title`			`abstract`		
Metric	MAP	MRR	NDCG	MAP	MRR	NDCG
short queries						
TF-IDF	**.46** (.38)	**.55** (.45)	**.19** (.18)	.35 (.37)	.41 (.43)	**.18** (.20)
WCS_{GLV}	.37 (.36)	.42 (.42)	.16 (.18)	.29 (.31)	.40 (.43)	.15 (.17)
WCS_{W2V}	.33 (.34)	.35 (.38)	.14 (.16)	.33 (.35)	.39 (.43)	.13 (.15)
$IWCS_{GLV}$	.41 (.36)	.49 (.44)	.18 (.18)	.32 (.32)	.39 (.41)	.17 (.18)
$IWCS_{W2V}$	.38 (.35)	.45 (.43)	.17 (.18)	**.36** (.34)	**.42** (.41)	.17 (.18)
$IWCS\text{-}WMD_{GLV}$	.35 (.32)	.40 (.38)	.17 (.17)	.35 (.36)	.41 (.42)	.17 (.18)
$IWCS\text{-}WMD_{W2V}$	.30 (.31)	.34 (.37)	.15 (.17)	.29 (.32)	.33 (.39)	.15 (.17)
WMD_{GLV}	.25 (.33)	.27 (.37)	.11 (.17)	.18 (.27)	.21 (.33)	.08 (.14)
WMD_{W2V}	.27 (.35)	.29 (.40)	.11 (.16)	.22 (.29)	.24 (.34)	.10 (.14)
D2V	.27 (.32)	.33 (.39)	.13 (.16)	.29 (.34)	.35 (.42)	.13 (.16)
long queries						
TF-IDF	.40 (.29)	**.51** (.39)	**.20** (.15)	.35 (.32)	**.47** (.43)	**.20** (.21)
WCS_{GLV}	.29 (.29)	.38 (.41)	.15 (.16)	.27 (.26)	.35 (.37)	.14 (.14)
WCS_{W2V}	.30 (.26)	.38 (.38)	.15 (.15)	.30 (.32)	.37 (.41)	.13 (.14)
$IWCS_{GLV}$	.37 (.34)	.45 (.43)	.17 (.16)	.33 (.30)	.44 (.41)	.16 (.16)
$IWCS_{W2V}$	.41 (.35)	.50 (.41)	.19 (.15)	**.36** (.33)	**.47** (.43)	.17 (.16)
$IWCS\text{-}WMD_{GLV}$	**.42** (.36)	.50 (.44)	.17 (.14)	.30 (.30)	.37 (.38)	.17 (.18)
$IWCS\text{-}WMD_{W2V}$	.40 (.31)	**.51** (.41)	.18 (.14)	.35 (.34)	.40 (.41)	.16 (.16)
WMD_{GLV}	.10 (.22)	.12 (.26)	.04 (.08)	.12 (.21)	.14 (.25)	.06 (.10)
WMD_{W2V}	.22 (.33)	.25 (.39)	.08 (.11)	.30 (.32)	.37 (.41)	.13 (.14)
D2V	.24 (.31)	.27 (.37)	.11 (.16)	.16 (.25)	.19 (.31)	.08 (.11)

For the *Economics dataset* (see Table 2), we observe that once again the retrieval over titles yields consistently higher metric values in terms of MAP, MRR, and NDCG. Considering the `title` field, the IWCS is similar to the baseline in terms of MAP (.37). The MRR and NDCG values attained by IWCS are slightly higher than the ones of WCS (.01). In case of `full-text`, no embedding-based technique could outperform the baseline. Doc2Vec inference is the closest competitor with .28 compared to .34 MAP of the baseline. We canceled the experiments with Word Mover's distance related techniques on the full-text after 200 hours. The computational effort disqualifies them for being suitable for full-text retrieval in practice.

Tab. 2: Results for the Economics dataset using either the title or the full-text field with respect to the evaluation metrics MAP, MRR, and NDCG, limited to $k = 20$ retrieved documents. Again Word2Vec (W2V) and Glove (GLV) are used as embedding models for the embedding-based similarty metrics.

Field	`title`			`full-text`		
Metric	MAP	MRR	NDCG	MAP	MRR	NDCG
TF-IDF	**.37** (.38)	.42 (.44)	.26 (.30)	**.34** (.35)	**.40** (.43)	**.26** (.30)
WCS_{GLV}	.36 (.37)	.42 (.44)	.25 (.29)	.21 (.29)	.25 (.36)	.13 (.19)
WCS_{W2V}	.36 (.37)	.41 (.43)	.25 (.29)	.26 (.31)	.32 (.40)	.19 (.24)
$IWCS_{GLV}$	**.37** (.37)	**.43** (.43)	.26 (.29)	.23 (.30)	.28 (.37)	.16 (.22)
$IWCS_{W2V}$	**.37** (.37)	**.43** (.43)	**.27** (.30)	.26 (.31)	.32 (.40)	.19 (.24)
IWCS-WMD_{GLV}	.33 (.35)	.38 (.41)	.25 (.28)		did not finish	
IWCS-WMD_{W2V}	.32 (.34)	.36 (.41)	.25 (.28)		did not finish	
WMD_{GLV}	.28 (.34)	.32 (.41)	.19 (.27)		did not finish	
WMD_{W2V}	.27 (.34)	.31 (.41)	.19 (.27)		did not finish	
D2V	.30 (.36)	.35 (.42)	.21 (.28)	.28 (.31)	.33 (.39)	.22 (.26)

Considering the results for the *Reuters dataset* (see Table 3), we observe that IWCS outperforms the baseline in case of the `title` as well as the `full-text` field. The IWCS attains a MAP of .60 compared to .52 of TF-IDF ($\approx$ 15% relative improvement). The results for the two embeddings Word2Vec and GloVe are more or less tied in all cases. In case of full-text with the Word2Vec model, re-weighting the top k documents with WMD could slightly improve the MAP (.56 compared to .55), while the NDCG is equal to one of IWCS and the MRR is slightly lower (.58 of TF-IDF compared to .60).

Tab. 3: Results for the Reuters dataset using either the title or the full-text field with respect to the evaluation metrics MAP, MRR, and NDCG, limited to $k = 20$ retrieved documents and use of the two embedding models Word2Vec (W2V) and Glove (GLV).

Field	`title`			`full-text`		
Metric	MAP	MRR	NDCG	MAP	MRR	NDCG
TF-IDF	.52 (.35)	.61 (.43)	.41 (.32)	.51 (.37)	.58 (.43)	.44 (.36)
WCS_{GLV}	.55 (.31)	.63 (.40)	.42 (.29)	.51 (.33)	.60 (.41)	.44 (.33)
WCS_{W2V}	.54 (.33)	.63 (.41)	.43 (.31)	.52 (.35)	.57 (.41)	.46 (.35)
$IWCS_{GLV}$	.58 (.31)	**.69** (.39)	.45 (.29)	.54 (.34)	**.63** (.41)	.47 (.33)
$IWCS_{W2V}$	**.60** (.33)	**.69** (.40)	**.47** (.32)	.55 (.35)	.60 (.41)	**.49** (.36)
IWCS-WMD_{GLV}	.54 (.30)	.62 (.39)	.43 (.49)	.55 (.34)	.61 (.41)	.46 (.33)
IWCS-WMD_{W2V}	.54 (.33)	.58 (.40)	.44 (.32)	**.56** (.37)	.58 (.42)	**.49** (.37)
WMD_{GLV}	.49 (.32)	.54 (.39)	.38 (.29)	.43 (.32)	.50 (.41)	.37 (.31)
WMD_{W2V}	.48 (.34)	.53 (.41)	.39 (.31)	.41 (.34)	.45 (.41)	.33 (.32)
D2V	.48 (.32)	.55 (.41)	.36 (.30)	.43 (.33)	.52 (.43)	.36 (.32)

6 Discussion

Aggregating the MAP values over all datasets, configurations, and embedding models, WCS attained a mean score of .36 (SD: .10), whereas our novel IWCS attains a value of .40 (.11) ($\approx$ 11% relative improvement). The TF-IDF baseline attains a value of .41 (.07). Word Mover's distance attained a value of .29 (.12), whereas the IWCS-WMD hybrid approach attains a value of .40 (.10). Doc2Vec attains an aggregated MAP score of .31 (.10). We conclude that WCS is the best-performing embedding-based retrieval model and can be extended by a IDF-reweighting (IWCS) to be competitive to the TF-IDF baseline.

For detailed inspection of the difference between the used embedding model, we aggregate the values of IWCS using Word2Vec and IWCS using GloVe. IWCS using Word2Vec attains an aggregated MAP score of .41 (.10), while IWCS using GloVe attains an aggregated MAP score of .39 (.11). Thus, the Word2Vec model is preferable for the investigated datasets. A theoretical benefit of the skip-gram negative sampling algorithm is that it can be used to incrementally learn vectors for out of vocabulary words. Considering the comparison of the document fields `title`, `abstract`, and `full-text`, we also aggregate the respective MAP values. The TF-IDF baseline on the `title` field attains a score of .44 (.06), whereas WCS and IWCS attain aggregated scores of .39 (.09) and .44 (.09), respectively. On the `abstract` and `full-text` fields, the aggregated MAP values are .39 (.07) for TF-IDF, .34 (.11) for WCS and .37 (.11) for IWCS. Thus, the IDF re-weighted aggregation of word vectors can be considered competitive to TF-IDF. The results indicate that embedding-based models especially seem to be advantageous on short texts, such as the `title` field of the documents.

7 Conclusion

We confirm that word embeddings can be successfully employed in a practical information retrieval setting. The proposed cosine similarity of IDF re-weighted, aggregated word vectors is competitive to the TF-IDF baseline. Over all datasets, IWCS improves the performance of WCS by 11%. In case of the news domain, IWCS outperforms the TF-IDF baseline with a with a relative percentage of 15%.

Reproducibility The code for reproducing the experiments is available at `github.com/lgalke/vec4ir`.

Acknowledgment This work was supported by the EU's Horizon 2020 programme under grant agreement H2020-693092 MOVING.

References

[01] Proceedings of the Second Workshop Meeting on Evaluation of Chinese & Japanese Text Retrieval and Text Summarization, NTCIR-2, Tokyo, Japan, March 7-9, 2001, National Institute of Informatics (NII), 2001.

[AR02] Amati, G.; van Rijsbergen, C. J.: Probabilistic models of information retrieval based on measuring the divergence from randomness. ACM Trans. Inf. Syst. 20/4, pp. 357–389, 2002.

[BA16] Balikas, G.; Amini, M.: An empirical study on large scale text classification with skip-gram embeddings. CoRR abs/1606.06623/, 2016.

[BBL99] Beeferman, D.; Berger, A. L.; Lafferty, J. D.: Statistical Models for Text Segmentation. Machine Learning 34/1-3, pp. 177–210, 1999.

[BCV13] Bengio, Y.; Courville, A. C.; Vincent, P.: Representation Learning: A Review and New Perspectives. IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell. 35/8, pp. 1798–1828, 2013.

[Be03] Bengio, Y.; Ducharme, R.; Vincent, P.; Janvin, C.: A Neural Probabilistic Language Model. Journal of Machine Learning Research 3/, pp. 1137–1155, 2003.

[BNJ03] Blei, D. M.; Ng, A. Y.; Jordan, M. I.: Latent Dirichlet Allocation. Journal of Machine Learning Research 3/, pp. 993–1022, 2003.

[CP13] Clinchant, S.; Perronnin, F.: Textual Similarity with a Bag-of-Embedded-Words Model. In: ICTIR. ACM, p. 25, 2013.

[CW08] Collobert, R.; Weston, J.: A unified architecture for natural language processing: deep neural networks with multitask learning. In: ICML. Vol. 307. ACM International Conference Proceeding Series, ACM, pp. 160–167, 2008.

[Go16] Goth, G.: Deep or shallow, NLP is breaking out. Commun. ACM 59/3, pp. 13–16, 2016.

[Hi98] Hiemstra, D.: A Linguistically Motivated Probabilistic Model of Information Retrieval. In: ECDL. Vol. 1513. Lecture Notes in Computer Science, Springer, pp. 569–584, 1998.

[Ho99] Hofmann, T.: Probabilistic Latent Semantic Indexing. In: SIGIR. ACM, pp. 50–57, 1999.

[Ku15] Kusner, M. J.; Sun, Y.; Kolkin, N. I.; Weinberger, K. Q.: From Word Embeddings To Document Distances. In: ICML. Vol. 37. JMLR Workshop and Conference Proceedings, JMLR.org, pp. 957–966, 2015.

[Le04] Lewis, D. D.; Yang, Y.; Rose, T. G.; Li, F.: RCV1: A New Benchmark Collection for Text Categorization Research. Journal of Machine Learning Research 5/, pp. 361–397, 2004.

[LM14] Le, Q. V.; Mikolov, T.: Distributed Representations of Sentences and Documents. In: ICML. Vol. 32. JMLR Workshop and Conference Proceedings, JMLR.org, pp. 1188–1196, 2014.

[MBV17] Mu, J.; Bhat, S.; Viswanath, P.: All-but-the-Top: Simple and Effective Postprocessing for Word Representations. CoRR abs/1702.01417/, 2017.

[MH08] Mnih, A.; Hinton, G. E.: A Scalable Hierarchical Distributed Language Model. In: NIPS. Curran Associates, Inc., pp. 1081–1088, 2008.

[Mi13] Mikolov, T.; Sutskever, I.; Chen, K.; Corrado, G. S.; Dean, J.: Distributed Representations of Words and Phrases and their Compositionality. In: NIPS. Pp. 3111–3119, 2013.

[MLS99] Miller, D. R. H.; Leek, T.; Schwartz, R. M.: A Hidden Markov Model Information Retrieval System. In: SIGIR. ACM, pp. 214–221, 1999.

[MRS08] Manning, C. D.; Raghavan, P.; Schütze, H.: Introduction to information retrieval. Cambridge University Press, 2008.

[PC98] Ponte, J. M.; Croft, W. B.: A Language Modeling Approach to Information Retrieval. In: SIGIR. ACM, pp. 275–281, 1998.

[PSM14] Pennington, J.; Socher, R.; Manning, C. D.: Glove: Global Vectors for Word Representation. In: EMNLP. ACL, pp. 1532–1543, 2014.

[Ro92] Robertson, S. E.; Walker, S.; Hancock-Beaulieu, M.; Gull, A.; Lau, M.: Okapi at TREC. Special Publication 500-207/, pp. 21–30, 1992.

[SB88] Salton, G.; Buckley, C.: Term-Weighting Approaches in Automatic Text Retrieval. Inf. Process. Manage. 24/5, pp. 513–523, 1988.

[SFW83] Salton, G.; Fox, E. A.; Wu, H.: Extended Boolean Information Retrieval. Commun. ACM 26/11, pp. 1022–1036, 1983.

[TRB10] Turian, J. P.; Ratinov, L.; Bengio, Y.: Word Representations: A Simple and General Method for Semi-Supervised Learning. In: ACL. The Association for Computer Linguistics, pp. 384–394, 2010.

[ZC15] Zheng, G.; Callan, J.: Learning to Reweight Terms with Distributed Representations. In: SIGIR. ACM, pp. 575–584, 2015.

[ZC16] Zamani, H.; Croft, W. B.: Embedding-based Query Language Models. In: ICTIR. ACM, pp. 147–156, 2016.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 2169

Reranking-based Recommender System with Deep Learning

Ahmed Saleh[1,2], Florian Mai[1,2], Chifumi Nishioka[1,2], Ansgar Scherp[1,2]

Abstract: An enormous volume of scientific content is published every year. The amount exceeds by far what a scientist can read in her entire life. In order to address this problem, we have developed and empirically evaluated a recommender system for scientific papers based on Twitter postings. In this paper, we improve on the previous work by a reranking approach using Deep Learning. Thus, after a list of top-k recommendations is computed, we rerank the results by employing a neural network to improve the results of the existing recommender system. We present the design of the deep reranking approach and a preliminary evaluation. Our results show that in most cases, the recommendations can be improved using our Deep Learning reranking approach.

Keywords: recommender systems; deep learning; semantic profiling

1 Introduction

The increasing volume of published scientific papers increases the need for recommender systems. In our earlier work, we have studied the possibility of building a title-based recommender system and compared it to a recommender system which analyses the full-text for making scientific paper recommendations [NS16]. To this end, we have introduced a novel hierarchy-based scoring model, called HCF-IDF (Hierarchical Concept Frequency - Inverse Document Frequency), to compute the list of top-k recommendations. HCF-IDF extends the classical information retrieval model TF-IDF (Term Frequency – Inverse Document Frequency) by the use of semantic concepts (C) that are organized in a poly-hierarchical knowledge graph (H). In an online experiment with $n = 123$ Twitter users in the area of economics, we could show that our recommender system and novel scoring function can provide competitive scientific paper recommendations based only on the titles of the papers versus analysing the entire fulltext. A variant of HCF-IDF is CF-IDF (Concept Frequency - Inverse Document Frequency), which results from leaving out the hierarchical relations in the knowledge graph.

In this paper, we extend on our previous work by investigating to further improve the recommendation quality by reranking the results using a Deep Learning technique. The reranking is based on Paragraph Vectors [LM14], a popular technique to compute a

[1] ZBW – Leibniz Information Centre for Economics, Kiel and Hamburg, Germany, {stu200671, stu96542, chni, asc}@informatik.uni-kiel.de
[2] Knowledge Discovery, Department of Computer Science, Kiel University, Kiel, Germany

doi:10.18420/in2017_216

fixed-length vector representation of a variable-length input text. In contrast to classical Bag-of-Words representations, Paragraph Vectors take the sequence of word occurrences into account and can represent word similarities. As dataset, we employ the evaluation results of our online user study carried out earlier [NS16]. It contains for each user and recommendation method like HCF-IDF and CF-IDF a precomputed list of top-k recommended scientific publications and their relevance. On these recommended lists, we apply Paragraph Vectors to rerank the results. We measure the improvement given the gold standard from the online study using the information retrieval metric nDCG (normalized Discounted Cumulative Gain).

2 Literature Review

Capturing the user interests from a set of text updates (e.g., tweets, social media status) has been studied in different works. For example, Chen et al. presented a recommender system that could recommend URLs to the users based on their own Twitter profiles and social voting [Ch10]. Goosen et al. proposed a recommender system for news articles based on a novel CF-IDF profiling method. The authors performed an experiment where 100 news articles have been displayed to 19 users who then had to indicate whether the article was relevant or not [Go11]. The results show that CF-IDF outperformed the popular TF-IDF model. Inspired by this work, we have developed HCF-IDF, a hierarchical variant of CF-IDF [NS16]. We have built a recommender system based on twelve user profiling strategies, each of which generated five recommendations to 123 participants in an online experiment. Half of the strategies were applied on full texts and the other on titles of scientific publications. The participants assessed whether the recommendations were of interest to them or not. The results showed that the best recommendations were achieved by CF-IDF and HCF-IDF on full-texts, with a sliding window as a decay function. However, the novel HCF-IDF profiling method achieves similar results just by using the titles of the publications. Following the successful application of HCF-IDF, we have investigated the possibility of building a deep learning model that captures syntactic and semantic word relationships in the users' social media profiles in order to provide better recommendations. To this end, we investigated recent word embedding techniques. Mikolov et al. introduced the skip-gram model, an efficient method for learning high quality vector representations of words from large amounts of unstructured text data [Mi13]. The principle idea of skip-gram models is to generate the word vectors. The approach demonstrated great performance for explicitly encoding different linguistic regularities and patterns. The results inspired Le and Mikolov to develop an unsupervised learning technique, called Paragraph Vectors, that takes advantage of the skip-gram model's words representation to learn fixed-length feature representations from texts of different lengths (e.g. documents or users' social media profiles) [LM14].

3 Method Description

We start by discussing methods for profiling documents and computing user profiles. Subsequently, we describe how to use the results of these methods as an input for a cosine similarity function in order to provide an initial ranking of top-k relevant documents. Finally, we present an approach for reranking the top k relevant documents using the deep learning Paragraph Vectors model.

3.1 Profiling methods

We present the two methods for profiling, which provided the best recommendations in our previous study, namely HCF-IDF and CF-IDF [NS16]. **CF-IDF** is an extension of TF-IDF that counts concepts instead of terms. CF represents the frequency of occurrence of a concept, while the IDF factor of a term is inversely proportional to the number of documents in which the concept appears. This means, the lower the concept appears in the corpus, the higher the IDF factor and vice versa. CF-IDF is the product of these quantities and is calculated using Equation 1:

$$score_{cf-idf}(c,d) = freq(c,d) \cdot \log \frac{|D|}{|d \in D : c \in d|} \tag{1}$$

$|D|$ denotes the number of documents in our dataset and $|d \in D : c \in d|$ are the number of documents d in D containing c. **HCF-IDF** is an extension of CF-IDF that takes into account the hierarchical structure of concepts by applying a spreading activation function. Figure 1 shows an example where a users' social media profile includes the concept "loss offset", a concept in a thesaurus for economics. Because of the hierarchical structure of the thesaurus of economics, HCF-IDF will also activate the parent concepts "corporate tax management" and "business economics". The algorithm will automatically give less weight to the general concepts, like "business economics", by using the bell log spreading activation which has been presented by Kapanipathi et al. [Ka14]. HCF-IDF is a product of the following two quantities and is computed using Equation 2:

$$score_{hcf-idf}(c,i) = BL(c,i) \cdot \log \frac{|I_u| + |I_r|}{|i \in I_u \bigcup I_r : c \in i|} \tag{2}$$

$|I_u|$ denotes the user's social media stream, $|I_r|$ is the number of random social media items, and $BL(c,i)$ is the bell log spreading activation function.

3.2 Ranking based on similarity scores

In order to calculate the similarity between the social media profile of the user P_u and the documents profiles P_d, which have been generated using the CF-IDF and HCF-IDF methods, we employ the cosine similarity using Equation 3:

$$\sigma(P_u, P_d) = \frac{P_u \cdot P_d}{||P_u|| \cdot ||P_d||} \tag{3}$$

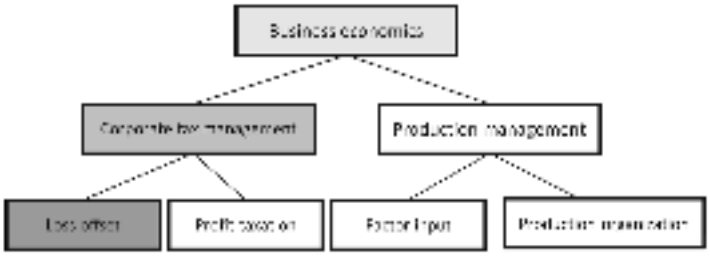


Fig. 1: Example of applying HCF-IDF and spreading activation for giving weights in a thesaurus for economics.

Based on the similarity scores $\sigma(P_u, P_d)$, the top five documents are chosen and passed to a pre-trained Paragraph Vectors models for reranking the documents based on their semantics.

3.3 Reranking with Paragraph Vectors

The approach aims to map a text of arbitrary length ("paragraph") into a vector space in such a way that similar texts are located close to each other. In our experiment, we employ the Distributed Memory Model of Paragraph Vectors (PV-DM) [LM14]. The underlying assumption is highly influenced by the skip-gram word embedding models [Mi13], where one word vector is mapped into a vector space, in which semantically similar words have similar vector representations. To this end, it performs the task of predicting the center word of a sequence given its context: $\log P(w_t|w_{t-k} \ldots w_{t-1}w_{t+1} \ldots w_{t+k})$. The Paragraph Vectors model extends this model by optimizing a representation that encodes the probability of a sequence of words in a paragraph. Formally, we maximize the sum of all average log probability $\log P(w_t|w_{t-k}, \ldots, w_{t+k}, r)$ over all center words w_t occurring in paragraph r. In order to perform the prediction task, the softmax activation function (Equation 4) is used:

$$P(w_t|w_{t-k}, \ldots, w_{t+k}, r) = \frac{e^{y_{w_t}}}{\sum_i e^{y_i}} \tag{4}$$

where y_i is the log-probability for output word i, computed as in Equation 5:

$$y = b + U \cdot h(w_{t-k}, \ldots, w_{t+k}, r; \mathbf{W}, \mathbf{D}) \tag{5}$$

where U, b are the softmax parameters and h is a function that concatenates the word and paragraph embeddings extracted from $\mathbf{W}$ and $\mathbf{D}$ [LM14]. In order to train our Paragraph Vectors model, we used ZBW's economics dataset and Wikipedia dataset. ZBW's economics dataset consists of around 288,000 open access English publications while the Wikipedia dataset consists of more than 3,750,000 English articles. We trained a Paragraph Vectors model for each of the documents by moving a sliding window of $size = 5$ for the economics

dataset and $size = 8$ for the Wikipedia dataset, over each sentence of the text. Contexts over multiple sentences are disregarded. We set the dimensionality of the feature vectors for the economics model to 100 and 1000 for the Wikipedia model. In order to speed up the training process, we used hierarchical softmax as suggested in [LM14]. Finally, the trained Paragraph Vectors models are utilized to compute the vector representation of a document and the user's social media profile (concatenation of all of the user's tweets separated by a blank), and compute the cosine similarity between both of them. Two Paragraph Vectors will be similar (in terms of cosine similarity), if the encoded texts are similar. This is utilized to improve the recommendations based on the recommendations from the CF-IDF and HCF-IDF profiling methods by reordering the top five recommended documents.

4 Experimental Evaluation

In this section, we will present more information about our evaluation procedures in Section 4.2. The datasets which have been used are described in Section 4.1 and the results in correspondence with the nDCG evaluation metric are shown in Section 4.3.

4.1 Datasets

Economics thesaurus (STW) The economics thesaurus[1] contains a vocabulary of more than 6,000 economic subjects. This thesaurus is developed and maintained by an editorial board of domain experts at ZBW – Leibniz Information Centre for Economics.

EconBizRecSys evaluation dataset[2] contains the evaluation results from a previously built title and fulltext-based recommender system experiment with assessments of n = 123 participants after analysing their Twitter profiles [NS16]. The evaluation results have been generated from twelve different strategies, each of which contains five scientific publication recommendations and its corresponding user assessment. The recommended scientific publications are a subset of the ZBW Economics dataset with 288,000 English publications.

4.2 Procedure

In order to evaluate the performance of our recommender system, we have used the two datasets described above. The first one, STW, has been used for building the document profiles and the users' profiles. The second dataset has been used to re-evaluate the recommendation results of the HCF-IDF and CF-IDF profiling methods and evaluate the reranking recommendation results of the Paragraph Vectors model comparable to the users' assessment as a gold standard.

[1] http://zbw.eu/stw/version/latest/about
[2] https://datorium.gesis.org/xmlui/handle/10.7802/1224

In order to evaluate the usefulness, often called 'gain', of the recommended document based on its position in the recommendations list, we apply the normalized discounted cumulative gain ($nDCG$) metric. The metric compares the reranked recommendation results from the Paragraph Vectors method (DCG), with the user assessments of the recommendation results which have been generated by the CF-IDF and HCF-IDF profiling methods as a gold standard. To illustrate this, let D be the set of documents, $rel(d)$ is a function that returns one if the document is rated relevant by the user, and zero otherwise. Thus, the normalized discounted cumulative gain $nDCG$ can be computed as:

$$nDCG_k = \frac{DCG_k}{IDCG_k}, \text{ where } DCG_k = rel(1) + \sum_{i=2}^{k} \frac{rel(i)}{\log(i)}$$

and $IDCG_k$ is the optimal ranking computed from the gold standard.

4.3 Results

In Table 1, we present the results of reranking recommendation approach using Deep Learning. As mentioned above, we used two Paragraph Vectors models for reranking the recommended scientific publication. The first model was trained with Wikipedia english language documents, we call it PV-wiki. The second model was trained with ZBW's economics dataset, we call it PV-economics. The results shows that reranking with Paragraph Vectors models can, in most cases, be utilized to improve the recommendation. In addition, the results show that the domain of the training dataset has an effect on the results. This could happen due to the problem of "out of vocabulary words", which occurs when the embedding models are trained on a small dataset (in terms of the number of words) from different domains.

5 Discussion and Conclusions

We have presented a reranking-based recommender system using Paragraph Vectors. We use CF-IDF and HCF-IDF as initial ranking methods as they had already been proven to provide best recommendations in our previous study.

We have trained two Paragraph Vectors models and utilized them for calculating the vector representation of scientific publications and users' tweets. Using cosine similarity, we compute the scores for reranking the documents. The results show that the Paragraph Vectors reranking method can improve upon previous methods. In the experiments, we employed only two different parameter sets for training two Paragraph Vectors models and focused primarily on reranking the recommendation results from CF-IDF and CF-IDF. In the future, we aim to asses the influence of the training parameters on the performance of our reranking-based recommender system.

Tab. 1: Normalized discount cumulative gain (nDCG) of the CF-IDF and HCF-IDF plain recommendation results vs. the reranked results of the Paragraph Vectors models (PV-wiki and PV-economics)

	Strategy	Reranking Strategy	nDCG@5 (SD)
Full text	CF-IDF	PV-economics	**0.822 (0.267)**
		PV-wiki	0.811 (0.280)
		None	0.796 (0.274)
	HCF-IDF	PV-economics	0.740 (0.325)
		PV-wiki	0.757 (0.332)
		None	**0.773 (0.327)**
Titles	CF-IDF	PV-economics	**0.671 (0.345)**
		PV-wiki	0.662 (0.342)
		None	0.654 (0.335)
	HCF-IDF	PV-economics	**0.762 (0.332)**
		PV-wiki	0.759 (0.337)
		None	0.734 (0.327)

Acknowledgement This work was supported by the EU's Horizon 2020 programme under grant agreement H2020-693092 MOVING.

References

[Ch10] Chen, Jilin; Nairn, Rowan; Nelson, Les; Bernstein, Michael; Chi, Ed: Short and tweet: experiments on recommending content from information streams. In: Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems. ACM, pp. 1185–1194, 2010.

[Go11] Goossen, Frank; IJntema, Wouter; Frasincar, Flavius; Hogenboom, Frederik; Kaymak, Uzay: News personalization using the CF-IDF semantic recommender. In: Proceedings of the International Conference on Web Intelligence, Mining and Semantics. ACM, p. 10, 2011.

[Ka14] Kapanipathi, Pavan; Jain, Prateek; Venkataramani, Chitra; Sheth, Amit: User interests identification on twitter using a hierarchical knowledge base. In: European Semantic Web Conference. Springer, pp. 99–113, 2014.

[LM14] Le, Quoc V; Mikolov, Tomas: Distributed Representations of Sentences and Documents. In: ICML. volume 14, pp. 1188–1196, 2014.

[Mi13] Mikolov, Tomas; Chen, Kai; Corrado, Greg; Dean, Jeffrey: Efficient estimation of word representations in vector space. arXiv preprint arXiv:1301.3781, 2013.

[NS16] Nishioka, Chifumi; Scherp, Ansgar: Profiling vs. time vs. content: What does matter for top-k publication recommendation based on Twitter profiles? In: Digital Libraries (JCDL), 2016 IEEE/ACM Joint Conference on. IEEE, pp. 171–180, 2016.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 2177

Acoustic Event Classification Using Convolutional Neural Networks

Stefan Kahl[1], Hussein Hussein[2], Etienne Fabian[3], Jan Schloßhauer[3], Enniyan Thangaraju[1], Danny Kowerko[1], Maximilian Eibl[1]

Abstract: The classification of human-made acoustic events is important for the monitoring and recognition of human activities or critical behavior. In our experiments on acoustic event classification for the utilization in the sector of health care, we defined different acoustic events which represent critical events for elderly or people with disabilities in ambient assisted living environments or patients in hospitals. This contribution presents our work for acoustic event classification using deep learning techniques. We implemented and trained various convolutional neural networks for the extraction of deep feature vectors making use of current best practices in neural network design to establish a baseline for acoustic event classification. We convert chunks of audio signals into magnitude spectrograms and treat acoustic events as images. Our data set contains 20 different acoustic events which were collected in two different recording sessions combining human and environmental sounds. Our results demonstrate how efficient convolutional neural networks perform in the domain of acoustic event classification.

Keywords: Acoustic Event Classification, Acoustic Event Detection, Convolutional Neural Networks

1 Introduction

The demographic change in the European Union (EU) will increase the number of elderly people rapidly. Since older people suffer from several chronic conditions and often stay in their own homes, they require a long-term care solutions [St07]. The observation of the activities and health status of elderly people using automatic systems is very important, because the long-term nursing care at home is very expensive. The recognition of human activity can be realized using acoustic and/or visual information which is obtained by microphones and/or video cameras installed in the homes to assist the daily living by the collection of individual information for monitoring systems. Acoustic monitoring includes recognition and detection of acoustic events which indicate critical events for elderly or people with disabilities in Ambient Assisted Living (AAL) environments or by patients in hospital. Most people feel that acoustic monitoring has little impact on privacy in

[1] Chemnitz University of Technology, D-09107 Chemnitz, Germany, {stefan.kahl, enniyan.thangaraju, danny.kowerko, maximilian.eibl}@informatik.tu-chemnitz.de
[2] Department of Literary Studies, Free University of Berlin, 14195 Berlin, Germany, hussein@zedat.fu-berlin.de
[3] Intenta GmbH, D-09125 Chemnitz, Germany, {e.fabian, j.schlosshauer}@intenta.de

doi:10.18420/in2017_217

comparison to video-based surveillance. The automatic recognition of specific acoustic events in an audio stream is important for the analysis of human activities. Acoustic Event Classification (AEC) deals with isolated acoustic event segments (offline), Acoustic Event Detection (AED) includes the identification of timestamps as well as types of acoustic events in continuous audio streams (online or live recordings) [Te06].

Many applications implement classification and detection of different types of acoustic events. AEC is often utilized in scene recognition to recognize the location of scenes (e.g. outdoor or indoor) [Ri15]. Additionally, AEC is often applied to the field of AAL and health care environments, e.g. the recognition of activities that occur inside a bathroom [Ch05] and in critical and threatening health situations [Hu16b]. Another application for AEC is in smart homes to detect different types of events, for example, speech, walking steps, coffee spoon jingle and mouse clicks [Ts14] as well as in meeting room environments to detect events such as speech, paper work, chair movements and key jingle [Te06].

The process of event recognition is based on feature extraction and classification. Various features and classifiers have been proposed for the classification of acoustic events. Features in the frequency-domain, time-domain and cepstral features are extracted and used stand-alone or in combination. Mel Frequency Cepstral Coefficients (MFCCs) are the most popular speech perception features which are utilized with Hidden Markov Models (HMMs). However, speech features are not necessarily suitable for the classification of acoustic events [Zh08][CNK09]. The most common classification techniques used are HMMs [Ch05][Te06][Er06][TRF15], Gaussian Mixture Models (GMM) [Pe02][Ch06][Ra15], the Support Vector Machine (SVM) classifier [Te06][Ch06][Hu16b], the K-Nearest Neighborhood (KNN) classifier [Pe02][Er06][Ch06][Hu16b], and in recent years, neural networks [Pi15].

In 2012, Convolutional Neural Networks (ConvNets, CNNs) started to outperform traditional image processing methods one by one. Since then, almost every traditional technique has been rendered obsolete when it comes to semantic image understanding. With rapid evolution, more powerful neural net architectures have been introduced (e.g. [Re15] for object detection, [RFB15] for image segmentation and [KFF15] for image captioning). Adapting those architectures for the audio domain has become common practice, mostly due to the overwhelming success of CNNs for image processing. Training and classification of visual representations of raw audio signals has proven to be very effective for different scenarios such as bird identification in sound recordings [Ka17] or acoustic scene classification [HL16].

This paper is organized as follows: Section 2 gives an overview on the *localizeIT* project for object tracking and behavior analysis using audio-visual information. The selection of acoustic events and data acquisition are described in Section 3. Section 4 reviews the acoustic event classification with convolutional neural networks. The experimental results are shown in Section 5. Finally, conclusions and future work are presented in Section 6.

2 LocalizeIT

The purpose of the research project *localizeIT* (`http://www.localize-it.de`) is the localization and tracking of objects as well as the analysis of object behavior using acoustic and visual information. We installed passive sensors, including acoustic and optical sensors (cameras with stereo optics), inside the tracking area of an audio-video laboratory to locate and track objects in an indoor environment. The analysis of object behavior from acoustic information can be used and fused with the visual-based object behavior analysis. The five-year project is funded by the Federal Ministry of Education and Research in the program of Entrepreneurial Regions.

3 Data Collection

We introduce a novel data set for the purpose of acoustic event classification for AAL scenarios. The selection of acoustic events and the collection of related data are described in this section.

3.1 Selection of Acoustic Events

We focused on acoustic events, which are produced by people in critical situations, for example, calls for help or suffering injuries from collapsing on the floor. There are different scenarios in which these acoustic events occur. The basic use case is a single elderly person in a room where he/she dropped on the floor and calls for help. Another use case includes a confused person in police custody where he/she has to stay alone in a detention cell. A very important use case applies to hospital facilities where mentally ill patients show critical behavior in community areas.

For our research, we defined a number of acoustic events, including human and environmental sounds, which are characteristic for the described use cases. A total of 20 acoustic events were recorded in two different sessions. In every session we simulated and recorded ten different acoustic events:

- ***TUC***: The first session included the following acoustic events [Hu16b]: help (calling of the speech signal “Hilfe” in German), scream, whimper, crying, quiet (long period of silence detected between audio segments of music, speech or background noise), strikes (strikes with an open hand on a wood plate), vandalism (destruction of furniture, strikes on a wood plate and sometimes scream), downfall of plate (downfall of a wooden plate to the ground), dislocation of furniture (movement of furniture such as a commode on ground), and chair movement (movement of a chair on ground).
- ***Intenta***: The following acoustic events were recorded during the second session [Fa17]: movement of window handle, movement of door handle, pen on cup (strike

the cup with a pen), lighter (set fire with the lighter), sensor bracket, clapping, strikes of metal to metal, strikes on wall, trampling on carpet, and tongue clicking.

3.2 Data Acquisition

We recorded human sounds for the *TUC* data set with people of age 25 to 82. Both data sets are recorded in quiet environments at Chemnitz University of Technology and Intenta GmbH. The audio files were recorded with an sampling frequency of 44.1 kHz and a resolution of 16 bit. Two measurement microphones (Behringer ECM-8000) connected to the audio interface (Focusrite Scarlett 2i2) were used for the recording of audio data of the first set. The distance between the microphones was set to 20 cm and the distance to the acoustic source was varying between 20 to 30 cm. The second data set was recorded using three Schneider Intercom MIC Q400 microphones, which were positioned at about 2.5m height below the ceiling. The distance between the microphones and the signal source in this case ranged from 50 cm to 4 m for all signals except the movement of the window and the door handle. For this two events distance was constantly 4 m. The acquired audio data was manually annotated using the *Folker* toolkit [SS10].

3.3 Data Analysis

A total of 58 persons (11 female and 47 male) participated in the first recording session (*TUC*) to acquire acoustic events produced by humans, e.g. help, scream, whimper and crying. The run length of the acquired data for the first ten acoustic events is 54 minutes with a total of 1612 recording samples. The number of audio files is as follows: help (175), scream (129), whimper (176), crying (192), quiet (45), strikes (475), vandalism (78), downfall of plate (84), dislocation of furniture (126), and chair movement (132).

The size of acquired audio data for the second ten acoustic events (*Intenta*) is 4 minutes with a total of 704 recording samples. The number of audio files is as follows: movement of window handle (68), movement of door handle (56), pen on cup (58), lighter (100), sensor bracket (68), clapping (76), strikes of metal to metal (90), strikes on wall (56), trampling on carpet (70), and tongue clicking (62).

3.4 Data Post-processing

The annotated data set only contains the occurrence of single acoustic events without silence before and after the acoustic event. The length of most of the defined acoustic events is very short. The average length of selected acoustic events is as follows: strikes (0.15 sec), movement of window handle (0.45 sec), movement of door handle (0.25 sec), pen on cup

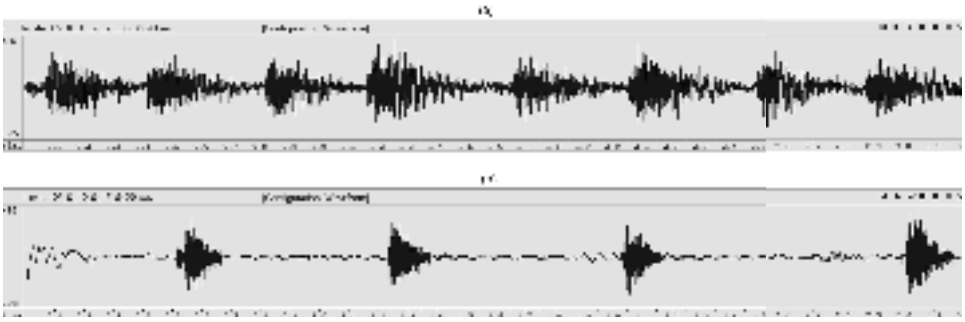


Fig. 1: Combination of acoustic events. a): original annotated acoustic events. b): post-processed acoustic events by adding a small pause before and after every acoustic event.

(0.40 sec), lighter (0.15 sec), strikes of metal to metal (0.40 sec), and tongue clicking (0.30 sec).

With real-world applications in mind, we decided to use recordings of at least three seconds of length. This way, very short recordings can be distributed over a longer period of time, which does reflect the expected distribution of acoustic events in realistic environments. We added a small pause with a random length between 0.2 and 0.5 sec before and after every acoustic event. Thereafter, we combined acoustic events of the same class to generate longer audio files with varying event distribution. Figure 1 shows the combination of original file with annotated acoustic events (a) as well as the combination of post-processed annotated acoustic events with a small pause before and after the acoustic event (b). The first four acoustic events in Figure 1 (a) are shown in Figure 1 (b) after adding the pauses. The resulting number of audio files after the combination of acoustic events is 615 and 177 for *TUC* and *Intenta*, respectively.

4 Experiments

Our experimental workflow consist of four main parts. First, we extract spectrograms from every audio recording using FFT in order to transfer the input data to the domain of image processing. Secondly, we extend our training set via data set augmentation. Thirdly, we train a convolutional neural network with a classic layout and best practice hyperparameter settings. Finally, we evaluate trained neural nets on a total of 156 test recordings using average prediction pooling.

4.1 Spectrogram Extraction

We decided to use magnitude spectrograms as visual representation of our training samples. Our experiments showed that large input resolutions with highly detailed signal transfor-

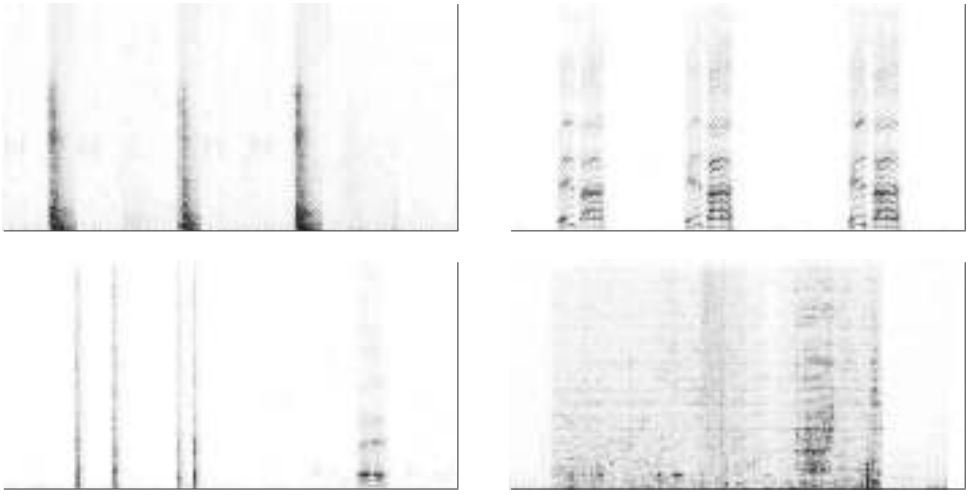


Fig. 2: Extracted magnitude spectrograms of samples for window handle (top left), calling for help (top right), vandalism (bottom left) and dislocation of furniture (bottom right). We use the framework *python_speech_features* for FFT with a window length of 0.02 and step size of 0.00585 for three-second chunks of each signal. We use a FFT length of 511 and do not crop high frequencies.

mations lead to better classification results. Most ConvNet architectures from benchmark evaluations are designed for relatively small input sizes. We decided to use non-square spectrograms with a resolution of 512x256 pixels (width x height, width being the time scale), each representing three-second chunks of the source file. Figure 2 shows some selected spectrograms for different acoustic events.

4.2 Data Augmentation

Choosing the right data set augmentation is vital to reduce the generalization error. Extending the training data aims to prevent overfitting due to a more diverse data set and should target properties of the test set underrepresented or missing in the training data. For the spectrogram domain, data set augmentation has to be selected carefully. Common geometric transformations such as horizontal flip, zoom, crop or shearing are not suitable as they might mask the original signal. We decided to use three augmentation methods: Pitch shifting vertical roll of 5%, time shifting horizontal roll of 50% and random Gaussian noise. Rolling the input image vertically or horizontally shifts the pixel values in the desired direction and thus preserves complete information as out-of-border pixel are added to the opposite image boundary. Neural nets usually learn to ignore random noise during training. We noticed that artificial noise helps to lower the generalization error despite the lack of heavy noise in the test data.

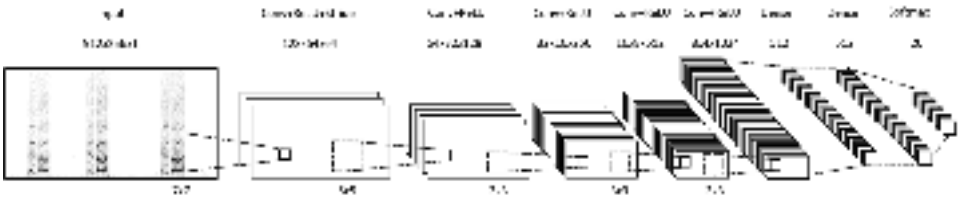


Fig. 3: Proposed ConvNet Architecture. All layers except for input and softmax layers use batch normalization, ReLu activation and are He-initialized. We use 2x2 strides in the first convolutional layer to cope with large inputs. MaxPooling of size 2 reduces spatial dimensions after every convolution.

We applied all augmentations at runtime, which significantly speeds up the training process and is more resource efficient. We implemented a multi-threaded batch loader, that operates during a forward-backward pass iteration using CPU idle time.

4.3 Training

Training neural nets with large input sizes is considerably harder and requires even better fine-tuning. We decided to follow common practices in ConvNet design and settled for a classic approach with no highway connections or shortcuts (Figure 3). Despite the simplicity of our net architecture, our simple model performed significantly better during our experiments than implementations of a ResNet-50 [He16] or DenseNet-32 [Hu16a]. This might be due to the homogeneous inputs in the spectrogram domain. Although our dataset features distinct classes with heterogeneous audio samples, 1-dimensional signal representations do not allow for much variance; most spectrogram pixels are blank or contain only little information. This observation is backed by the works of [Sp16] and [Da17].

Our eight-layer ConvNet uses He-initialization [He15] for all weights, batch normalization [IS15] and ReLu activation [NH10], except for input and softmax layers. We experimented with different kernel sizes in the first two convolutional layers and found large receptive fields in early layers beneficial for the overall classification performance. Therefore, we used 7x7 and 5x5 kernels for large inputs. Increasing the number of dense units led to heavy overfitting, so we decided to dial down the number of parameters and added more convolution filters instead. We conducted several experiments with fully convolutional neural nets, removing all densely connected layers from our architecture, which further reduces the parameter count. However, we were not able to achieve the same classification accuracy with this architecture. Further investigation has to show whether these architectures are compatible for the domain of acoustic classification.

We used a NVIDIA P6000 GPU for training of 55 epochs with a batch size of 32 for each data set (*TUC*, *Intenta* and both sets combined). Training took 7-9 sec per epoch; we used early stopping to find the best parameter setting. Reducing the learning rate during training

is vital to ensure convergence of the optimization process. We used linear interpolation to lower the learning rate starting at 0.001 down to 0.000001 after each epoch. Despite the adaptive nature of the ADAM optimizer [KB14], this routine proved to be very effective.

We divided both data sets into a train (80%) and test split (20%). We used a 10% validation split of the training data to monitor the training process. Training data consisted of 1.725 spectrograms for the *TUC* set, 436 spectrograms for the *Intenta* set and 2.161 spectrograms for both sets combined.

4.4 Source Code

We implemented our code purely in Python using *NumPy*, *Theano* [Th16] and *Lasagne* [Di15] for models, objectives and solvers, *OpenCV* for image processing, *scikit-learn* for metrics and *Matplotlib* for visualizations. A refined and commented version of our code base is available for free use on GitHub[4]. We hope to provide a baseline system for further research regarding acoustic event classification and encourage research groups to contact us if any questions or remarks concerning the repository arise.

5 Results

Our test samples vary in run length and recording quality. However, since every test sample was randomly chosen from the original data set, our test set represents the original data distribution quite well. The proposed neural net architecture has proven to very efficient for our data set and validation results directly translate to the test files. Table 1 summarizes the results for three different test runs. We extracted consecutive three-second spectrograms using a two-second overlap for every test file. Combining the predictions of every spectrogram by simply applying average pooling led to excellent results and almost perfect predictions for every test sample.

	TUC	Intenta	Combined
Test Samples	123	33	156
Validation Accuracy	97,9%	100%	96,8%
Mean Average Precision	0,984	1,0	0,991
Precision at 1	0,967	1,0	0,981

Tab. 1: Results of our experiments for the *TUC* and *Intenta* training data as well as both sets combined.

Aside from the supposedly fitting model design, several circumstances have to be considered when interpreting the results. First, all test files contain only one class of acoustic events, which benefits softmax classifiers. Secondly, all test recordings where done in an artificial environment without background sounds and very low noise. Lastly, maintaining a very

[4] https://github.com/kahst/AcousticEventDetection

clean data set without distorted labels is key for successful training and classification. Most publicly available data sets do not comply with this condition. Our results clearly indicate that training convolutional neural networks for acoustic event detection is possible even with very limited data sets. Nonetheless, future experiments will have to show if these results hold up to more noisy environments, simultaneous sounds and most importantly unknown acoustic events without false detections.

6 Conclusion and Future Work

Real-time monitoring of audio signals demands a fast processing system, which can be used to extract the features of the signals and classify them effectively. Currently, this is the most crucial drawback of deep learning techniques as they consume many resources and require specialized hardware. Manufacturers are advancing their GPU technology further and eventually will incorporate enough computing power into portable devices. Until then, choices of portable or semi-portable hardware units for deep learning are limited. The NVIDIA Jetson TX2 provides the computing power sufficient for the proposed neural network presented in this paper. It is shipped with a developer board, which allows for rapid prototyping and implementation of software capable of acoustic event classification. Our conceptual workflow consists of training ConvNets on powerful GPUs and afterwards transferring trained models onto the TX2 where an audio stream is recorded and processed for acoustic events based on the classification of spectrograms. Specialized hardware for embedded applications like the Xilinx Zynq-7000 SoC ZC702 could be an alternative to the TX2 despite the lack of raw computing power because of its industry-standard FPGA Mezzanine Connectors. In any case, the quality of the detections will be influenced by the quality of the microphones, background noise and limited computing resources. However, the results presented in this paper indicate a good overall detection rate, our shallow neural net design and its small model size are well suited for less powerful devices.

Acknowledgments

This work is partially funded by the program of Entrepreneurial Regions InnoProfile-Transfer in the project group *localizeIT* (funding code 03IP608). The European Union and the European Social Fund for Germany also partially funded this research.

References

[Ch05] Chen, J.; Kam, A. H.; Zhang, J.; Liu, N.; Shue, L.: Bathroom Activity Monitoring Based on Sound. In: Proceedings of the Third International Conference on Pervasive Computing. PERVASIVE'05, Springer-Verlag, Munich, Germany, pp. 47–61, 2005.

[Ch06] Chu, S.; Narayanan, S.; Kuo, C.-C. J.; Mataric, M. J.: Where am I? Scene Recognition for Mobile Robots using Audio Features. In: Proceedings of the IEEE International Conference on Multimedia and Expo (ICME). Toronto, Canada, pp. 885–888, Juli 2006.

[CNK09] Chu, S.; Narayanan, S.; Kuo, C.-C. J.: Environmental Sound Recognition with Time-Frequency Audio Features. Proc. of IEEE Transactions on Audio, Speech, and Language Processing, 17(6):1142–1158, August 2009.

[Da17] Dai, Wei; Dai, Chia; Qu, Shuhui; Li, Juncheng; Das, Samarjit: Very deep convolutional neural networks for raw waveforms. In: Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), 2017 IEEE International Conference on. IEEE, pp. 421–425, 2017.

[Di15] Dieleman, Sander; Schlüter, Jan; Raffel, Colin; Olson, Eben; Sønderby, Søren Kaae; Nouri, Daniel et al.: , Lasagne: First release., August 2015.

[Er06] Eronen, A. J.; Peltonen, V. T.; Tuomi, J. T.; Klapuri, A. P.; Fagerlund, S.; Sorsa, T.; Lorho, G.; Huopaniemi, J.: Audio-Based Context Recognition. Proc. of IEEE Transactions on Audio, Speech, and Language Processing, 14(1):321 – 329, January 2006.

[Fa17] Fabian, E.: Erweiterung einer SVP-Plattform um eine Akustikkomponente und deren Anwendung zur Klassikation und Lokalisierung von Geräuschquellen. Master thesis, TU Chemnitz, February 2017.

[He15] He, Kaiming; Zhang, Xiangyu; Ren, Shaoqing; Sun, Jian: Delving deep into rectifiers: Surpassing human-level performance on imagenet classification. In: Proceedings of the IEEE international conference on computer vision. pp. 1026–1034, 2015.

[He16] He, Kaiming; Zhang, Xiangyu; Ren, Shaoqing; Sun, Jian: Deep residual learning for image recognition. In: Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition. pp. 770–778, 2016.

[HL16] Han, Yoonchang; Lee, Kyogu: Acoustic scene classification using convolutional neural network and multiple-width frequency-delta data augmentation. arXiv preprint arXiv:1607.02383, 2016.

[Hu16a] Huang, Gao; Liu, Zhuang; Weinberger, Kilian Q; van der Maaten, Laurens: Densely connected convolutional networks. arXiv preprint arXiv:1608.06993, 2016.

[Hu16b] Hussein, Hussein; Ritter, Marc; Manthey, Robert; Schloßhauer, Jan; Fabian, Etienne; Heinzig, Manuel: Acoustic Event Classification for Ambient Assisted Living and Healthcare Environments. In (Jokisch, Oliver, ed.): Proceedings of the 27th Conference on Electronic Speech Signal Processing (ESSV). volume 81 of Studientexte zur Sprachkommunikation, TUDpress, Leipzig, Germany, pp. 271–278, March 2016.

[IS15] Ioffe, Sergey; Szegedy, Christian: Batch normalization: Accelerating deep network training by reducing internal covariate shift. In: International Conference on Machine Learning. pp. 448–456, 2015.

[Ka17] Kahl, Stefan; Wilhelm-Stein, Thomas; Hussein, Hussein; Klinck, Holger; Kowerko, Danny; Ritter, Marc; Eibl, Maximilian: Large-Scale Bird Sound Classification using Convolutional Neural Networks. Working notes of CLEF, 2017.

[KB14] Kingma, Diederik; Ba, Jimmy: Adam: A method for stochastic optimization. arXiv preprint arXiv:1412.6980, 2014.

[KFF15] Karpathy, Andrej; Fei-Fei, Li: Deep visual-semantic alignments for generating image descriptions. In: Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. pp. 3128–3137, 2015.

[NH10] Nair, Vinod; Hinton, Geoffrey E: Rectified linear units improve restricted boltzmann machines. In: Proceedings of the 27th international conference on machine learning (ICML-10). pp. 807–814, 2010.

[Pe02] Peltonen, V.; Tuomi, J.; Klapuri, A.; Huopaniemi, J.; Sorsa, T.: Computational Auditory Scene Recognition. In: Proc. of IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP). Florida, USA, May 2002.

[Pi15] Piczak, K. J.: Environmental Sound Classification with Convolutional Neural Networks. In: IEEE 25th International Workshop on Machine Learning for Signal Processing (MLSP). Boston, MA, USA, pp. 1–6, September 2015.

[Ra15] Raboshchuk, G.; Jančovič, P.; Nadeu, C.; Lilja, A. P.; Köküer, M.; Mahamud, B. M.; Veciana, A. R.: Automatic Detection of Equipment Alarms in a Neonatal Intensive Care Unit Environment: A Knowledge-Based Approach. In: Proc. of Sixteenth Annual Conference of the International Speech Communication Association (Interspeech 2015). Dresden, Germany, September 2015.

[Re15] Ren, Shaoqing; He, Kaiming; Girshick, Ross; Sun, Jian: Faster R-CNN: Towards real-time object detection with region proposal networks. In: Advances in neural information processing systems. pp. 91–99, 2015.

[RFB15] Ronneberger, Olaf; Fischer, Philipp; Brox, Thomas: U-net: Convolutional networks for biomedical image segmentation. arXiv preprint arXiv:1505.04597, 2015.

[Ri15] Ritter, M.; Rickert, M.; Chenchu, L. J.; Kahl, S.; Herms, R.; Hussein, H.; Heinzig, M.; Manthey, R.; Richter, D.; Bahr, G. S.; Eibl, M.: Technische Universität Chemnitz at TRECVID Instance Search 2015. In: Proceedings of TRECVID Workshop. Gaithersburg, MD, USA, November 2015.

[Sp16] Sprengel, Elias; Jaggi, Martin; Kilcher, Yannic; Hofmann, Thomas: Audio Based Bird Species Identification using Deep Learning Techniques. In: CLEF (Working Notes). pp. 547–559, 2016.

[SS10] Schmidt, T.; Schütte, W.: FOLKER: An Annotation Tool for Efficient Transcription of Natural, Multi-party Interaction. In (Calzolari, N.; Choukri, K.; Maegaard, B.; Mariani, J.; Odijk, J.; Piperidis, S.; Rosner, M.; Tapias, D., eds): Proceedings of the Seventh International Conference on Language Resources and Evaluation (LREC'10). Valletta, Malta, pp. 2091 – 2096, May 2010.

[St07] Staff, European Commission: , Europe's demographic future: Facts and figures on challenges and opportunities, October 2007.

[Te06] Temko, A.; Malkin, R.; Zieger, C.; Macho, D.; Nadeu, C.; Omologo, M.: Acoustic Event Detection and Classification in Smart-Room Environment: Evaluation of CHIL Project Systems. In: Proc. of IV Jornadas en Tecnología del Habla - The IV Biennial Workshop on Speech Technology. Zaragoza, Spain, November 2006.

[Th16] Theano Development Team: Theano: A Python framework for fast computation of mathematical expressions. arXiv e-prints, abs/1605.02688, May 2016.

[TRF15] Transfeld, P.; Receveur, S.; Fingscheidt, T.: An Acoustic Event Detection Framework and Evaluation Metric for Surveillance in Cars. In: Proc. of 16th Annual Conference of the International Speech Communication Association (Interspeech 2015). Dresden, Germany, September 2015.

[Ts14] Tsiami, A.; Rodomagoulakis, I.; Giannoulis, P.; Katsamanis, A.; Potamianos, G.; Maragos, P.: ATHENA: a Greek Multi-Sensory Database for Home Automation Control. In: Proc. of 15th Annual Conference of the International Speech Communication Association (Interspeech 2014). Singapore, pp. 1608–1612, September 2014.

[Zh08] Zhuang, X.; Zhou, X.; Huang, T. S.; Hasegawa-Johnson, M.: Feature Analysis and Selection for Acoustic Event Detection. In: Proceedings of the IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, (ICASSP). Caesars Palace, Las Vegas, Nevada, USA, pp. 17–20, 2008.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 2189

Rhythmicalizer: Data Analysis for the Identification of Rhythmic Patterns in Readout Poetry (Work-in-Progress)

Burkhard Meyer-Sickendiek[1], Hussein Hussein[2] and Timo Baumann[3]

Abstract: The most important development in modern and postmodern poetry is the replacement of traditional meter by new rhythmical patterns. Ever since Walt Whitman's Leaves of Grass (1855), modern (nineteenth- to twenty-first-century) poets have been searching for novel forms of prosody, accent, rhythm, and intonation. Along with the rejection of older metrical units such as the iamb or trochee, a structure of lyrical language was developed that renounced traditional forms like rhyme and meter. This development is subsumed under the term *free verse prosody*. Our project will test this theory by applying machine learning or deep learning techniques to a corpus of modern and postmodern poems as read aloud by the original authors. To this end, we examine "*lyrikline*", the most famous online portal for spoken poetry. First, about 17 different patterns being characteristic for the *lyrikline*-poems have been identified by the philological scholar of this project. This identification was based on a certain philological method including three different steps: a) grammetrical ranking; b) rhythmic phrasing; and c) mapping rubato and prosodic phrasing. In this paper we will show how to combine this philological and a digital analysis by using the prosody detection available in speech processing technology. In order to analyse the data, we want to use different tools for the following tasks: PoS-tagging, alignment, intonation, phrases and pauses, and tempo. We also analyzed the *lyrikline*-data by identifying the occurrence of the mentioned patterns. This analysis is a first step towards an automatic classification based on machine learning or deep learning techniques.

Keywords: modern and postmodern poetry; free verse prosody; rhythmic patterns; automatic classification

1 Introduction

Classic poetry has been analyzed by focusing its prosodic structure which comprises rhyme and metrical schemes such as iambic or trochaic meter. The large amounts of manually analyzed works of such poetry have lead to tools like *Metricalizer* [Bo11] which proposes metrical patterns given in a poem's text and *Sparsar* [DP14] which uses such patterns for speech synthesis of metric poetry. These tools, however, do not work for *free verse poetry* which was started by modern and post-modern poets like

[1] Department of Literary Studies, Free University of Berlin, 14195 Berlin, Germany, bumesi@zedat.fu-berlin.de
[2] Department of Literary Studies, Free University of Berlin, 14195 Berlin, Germany, hussein@zedat.fu-berlin.de
Junior Professorship Media Computing, Chemnitz University of Technology, D-09107 Chemnitz, Germany, hussein.hussein@informatik.tu-chemnitz.de
[3] Department of Informatics, University of Hamburg, D-22527 Hamburg, Germany, baumann@informatik.uni-hamburg.de

doi:10.18420/in2017_218

Whitman, the Imagists, the Beat poets, and contemporary Slam poets, as long as these poets developed a postmetrical idea of rhythmic patterns. Regarding this kind of *free verse poetry*, [Fi00][Be97][Si97][MS12][LMSJ14] and many others identified manually a number of postmetrical prosodic forms and styles, providing a narrow but detailed view into modern and postmodern *free verse prosody*. At the same time, original recordings of modern and post-modern poets reciting their poetry are available. Till now, there was neither a digital approach towards the analysis of free verse prosodic patterns nor a philological analysis of read out poetry. We set out to change this. Therefore, in this paper we will describe the differences between free verse and more traditional metric poetry. This will highlight why traditional meter analysis tools cannot be used for free verse and why standard speech processing tools are more suitable for the task.

The paper is organized as follows: Section 2 gives an overview on the project *Rhythmicalizer* for recognition of rhythmic patterns in modern and postmodern poetry. The data are presented in the section 3. The theoretical (philological and digital) background and the rhythmical patterns are described in section 4. Section 5 reviews the philological method and digital tools. The analysis of data is described in section 6. Finally, conclusions and future work are presented in Section 7.

2 Rhythmicalizer

The aim of the project *Rhythmicalizer* (`http://www.rhythmicalizer.net/`) is the recognition and classification of rhythmic patterns in modern and postmodern poetry. Through a collaboration with "*lyrikline*" (`https://www.lyrikline.org/`), we want to use their speech and text database of modern and contemporary poetry, giving us access to hundreds of hours of author-spoken poetry. We will create a text-speech alignment for the spoken and written poems. Then we will extract and annotate a wide range of prosodic as well as textual features. In this paper, we will identify these rhythmic patterns which are typical for modern and postmodern German as well as US-american Poetry. The machine learning or deep learning techniques will be used to learn the rhythmic patterns, and to identify 'outlier poems' which deserve further analysis. By considering the alignment informations and by using various tools mentioned below, we will be able to bridge the gap between manual annotation and automatic annotation of prosodic patterns. The results of automatic analysis are to be presented in a visual and understandable form to a human philological analyst. The interface will be developed to allow the annotation of particularities and the addition of markables to annotate newly found types of noteworthy information. These will then be fed back to the machine-learning back-end and be used in the next cycle of automatic analyses. This human-in-the-loop approach for poetry analysis combines the strengths of human and machine analyses. The software is planned to be developed into a web-based client and server architecture. the human-in-the-loop hermeneutical analysis and interaction can be performed via any computer (and annotations can be parallelized). The three-year project is funded by the Volkswagen Foundation in the 'Mixed Methods' program by the interaction of qualitative hermeneutic methods and digital humanities in the Humanities.

3 Data

The database of our project is a huge collection of modern and postmodern readout poetry taken from the internet website of *lyrikline*. The *lyrikline* was created by the Literaturwerkstatt Berlin and hosts contemporary international poetry as audio files (read by the authors) and texts (original versions & translations), so it offers the melodies, sounds, and rhythms of international poetry, recited by the authors themselves. Users can listen to the poet and read the poems both in their original languages and various translations, the digital material covers more than 10,000 poems from about 1000 international poets from more than 60 different countries. Nearly 80% of the *lyrikline*-poems are postmetrical poems. We will use all the poems in english and german language (about 3500 poems).

4 Theoretical Approach

Our project intends to identify the rhythmical patterns of modern *free verse poetry* by using hermeneutical as well as digital methods. The methodological added value of our project is gained by this combination, which allows us for the very first time to estimate the real impact of *free verse prosody* on (post-)modern American as well as German poetry by analyzing a very large digital corpus of spoken audio poems.

4.1 The Philological Background: Theory of Free Verse Prosody

The theory of *free verse prosody* was developed in the USA by literary scholars like Annie Finch, Walter Sutton, Alan Golding, Rosemary L. Gates, Timothy Steele, Donald Wesling, Eleanor Berry, Derek Attridge or Nathalie Gerber. In [Hr60] the author marks the beginning of this theory, which named as 'The Prosodies of Free Verse' in [We71]. The theory reacts on a very important development in modern and postmodern poetry: the replacement of traditional meter by new rhythmical patterns. Modern as well as postmodern poets renounced traditional forms like rhyme and meter, developing novel forms of prosody, accent, rhythm, and intonation based on the rhythms of contemporary American Speech [Ga85][Ga87]. Music was another important influence, especially jazz, as well as efforts to visually register distinct free verse prosodies in print [Pe83]. Prosody, as a specifically literary rhythm, was thus crucially redefined in modern American and European poetry. This new kind of *free verse prosody* is marked by a new interplay of line and stanza, which may vary in different ways – line length, line integrity, line grouping, the dismemberment of the line, or systematic enjambement.

Charles O. Hartman defined metre as "a prosody whose mode of organization is numerical" [Ha80], and argued that free verse is prosodically, but not metrically, ordered: "the prosody of free verse is rhythmic organization by other than numerical modes" [Ha80]. Three aspects of *free verse prosody* are important. First, Emma Kafalenos assumed that (post-) modern

poetry uses isochronous units beyond the metrical patterns. In addition to the isochronous metrical foot, there is an "isochronous line" resp. a "breath-controlled line" [Ka74]. Second, Alan Holders developed a theory on 'phrasalism' as an alternative to foot theory, claiming that phrases and lines are the most important organizational and rhythmic units in poetry. And third, Rosemary Gates defined the prominence within a poetic line as being realized by three simultaneously occuring features: pitch range, duration, and loudness [Ga87].

4.2 The Digital Background: Theory of Speech processing

Prosodic features such as intonation, accent, tempo, rhythm, and pauses have become increasingly important in Natural Language Processing (NLP), in particular when a full understanding of speech and language is desirable such as for human-machine interaction or speech-to-speech translation. For example, conversational speech recognition profits from prosodic analysis as in the *Verbmobil* speech-to-speech translation system [Wa00] which used prosodic features for semantic decoding. Pauses can help to resolve referents and prosodic features help to segment dialog interactions into utterances. In text-to-speech (TTS) software, textual analysis is used to infer prosodic features to make the artificial production of speech from text sound sufficiently natural. A typical task in NLP is the text segmentation, i.e., the classification of units like words, sentences or utterances in a textual sequence. An automated phrase break prediction sub-divides a number of sentences into meaningful chunks to copy the way in which a native speaker might phrase the utterance.

4.3 Prosodic Classes (Rhythmic Patterns)

The greatest challenge for our project is to identify each individual poem as a variety of sequential data. We will need to transform each line of a poem into a sequence of prosodic elements in order to develop a statistical model. In a first step, each poem will be separated into prosodic segments; then the combination of these prosodic segments will be assigned to a particular type of rhythm. These patterns remain to be developed, since the existing research only discusses certain "figures of sound" or "figures of rhythm," both of which involve the repetition of some key linguistic component: a sound, a sequence of sounds, a method of forming words, a phrase structure, a line structure, or an intonational melody [Co98]. Following Cooper, our rhythmical types will focus on different styles of poetry, such as the:

1. **longline poem**, as it is used in Alan Ginsbergs Howl and adapted by Durs Grünbein, Jürgen Becker, Franz Hodjak, Paul Celan, or Stephan Hermlin;
2. **cadence**, a sentence-based prosodic repetition coined by the American Imagists (Fletcher, Hulme, Pound, H.D.,Lowell), which was highly influential for German Poets like Gottfried Benn, Enzensberger, Nicolas Born, and Franz Mon;

3. **variable foot**, an colon-based prosodic repetition developed by WC Williams in his later poems, and used by German authors like Nicolas Born, Richard Anders, Ernst Jandl, Hans Magnus Enzensberger, and Harald Hartung;

4. **syncopation**, a placement of rhythmic stresses or accents where they wouldn't normally occur, as used in the prosody of Jazz and Rap poetry by poets such as Hughes, Brown, and Jones, or Members of 'The Last Poets' like Bin Hassan, and German Rap-Poets like Bas Böttcher;

5. **permutation**, a permutative rhythm based on the combination of two (or more) types of rhythms which overlap. The permutation was developed by John Cage and is used in the poems of Jandl, Czernin, Becker, Gomringer, and Pastior;

6. **parlando**, a litany-like speech-song adopted by the rhythms of ordinary speech, which was very famous during the 1970s. The Parlando is used in poems of Benn, Rühmkorf, Enzensberger, Hodjak, Krüger, Haufs, or Kolbe;

7. **stressed enjambment**: an incomplete syntax at the end of a line, when the meaning runs over from one poetic line to the next. To stress the enjambement has a long tradition in the poetry of the former German Democratic Republic (GDR). It was invented by Bertolt Brecht and continued by Karl Mickel or Kerstin Hensel;

8. **unstressed enjambement**, used by postmodern poets like Heiner Müller, Thomas Kling, Nicolas Born, Jürgen Becker, Elfriede Czurda, Marcel Beyer, Jan Völker Röhnert or Ann Cotten;

9. **loop**, on which the 'rapping' prosody of Slam poetry (Edwin Torres, Bob Holman, Sapphire, Saul Williams, Maggie Estep, Dana Bryant, Sekou Sundiata, Amir Sulaimanis, Paul Beatty, Linton Kwesi Johnson, or Bas Böttcher) is based;

10. **ellipse**, caused by the omission of one or more words in a clause. The elliptic rhythm can be found in intertextual and experimental poetry (Wühr, Mayröcker, Becker, Beyer, Kling, and Papenfuß);

11. **lettristic decomposition**, an art of letters which operates beyond spoken language, the lettristic decomposition was invented by Isidore Isou and adapted by international Sound-Poets like Henri Chopin, Bob Cobbing, Amanda Steward, Jaap Blonk, and Valeri Scherstjanoi as well as German Poets like Gerhard Rühm, Ernst Jandl, Hans G Helms, Franz Mon, Oskar Pastior, and Michael Lentz;

12. **phonetic decomposition**, a kind of Sound Poetry which is more based on phonemes and was developed by Kurt Schwitters, Bernard Heidsieck, Helmut Heißenbüttel, Franz Mon, Gerhard Rühm oder Michael Lentz;

13. **sprung rhythm**, based on a number of stressed syllables in a line and permits an indeterminate number of unstressed syllables. It was developed by G.M. Hopkins,

W.C. Williams, and the Black Mountain poets, and was influential for German poetry since the 1960s (Born, Brinkmann, Kiwus, etc.);

14. **free association**, which forms the prosody of the écriture automatique of Surrealist authors such as Breton, Éluard, Desnos, Arp, and Soupault, and was highly influential for Mayröcker, Beyer or Kling;
15. **staccato**, which forms an abrubt, detached and choppy poetry like in John Berryman, Thomas Kling or Walter Mehring;
16. **cut-up-rhythm**, an aleatory literary technique in which a text is cut up and rearranged to create a new text. The concept can be traced to at least the Dadaists of the 1920s, but was popularized in the late 1950s and early 1960s by William S. Burroughs and Brion Gysin; and adapted by Brinkmann;
17. **dialect**, as it is used by Axel Karner, Ernst Jandl, HC Artmann, Wulf Kirsten and Franz Hohler.

5 Method

Our methodology is to employ automatic analysis based on computational speech and language processing in combination with manual hermeneutical analysis. We will use automatic techniques in a human-in-the-loop approach, in which we cycle between building (or extending) computational models and manual philological analysis of phenomena (and the annotation of these phenomena). The automatic analysis will, of course, be based on automatically extracted features that are potentially useful to describe and differentiate *free verse prosody*. Our goal is to find exactly those features and combinations that constitute *free verse prosody*.

5.1 Philological Method

Step 1: Grammetrical Ranking

The term grammetrics, coined by Donald Wesling, is a hybridization of grammar and metrics: the key hypothesis is that the interplay of sentence-structure and line-structure can be accounted for more economically by simultaneous than by successive analysis [We96]. In poetry as a kind of versified language, the singular sentence interacts with verse periods (syllable, foot, part-line, line, rhymed pair or stanza, whole poem), a process for which Wesling finds 'scissoring' an apt metaphor: "Grammetrics assumes that meter and grammar can be scissored by each other, that the cutting places can be graphed with some precision. One blade of the shears is meter, the other grammar. When they work against each other, they divide the poem. It is their purpose and necessity to work against each other [We96]."

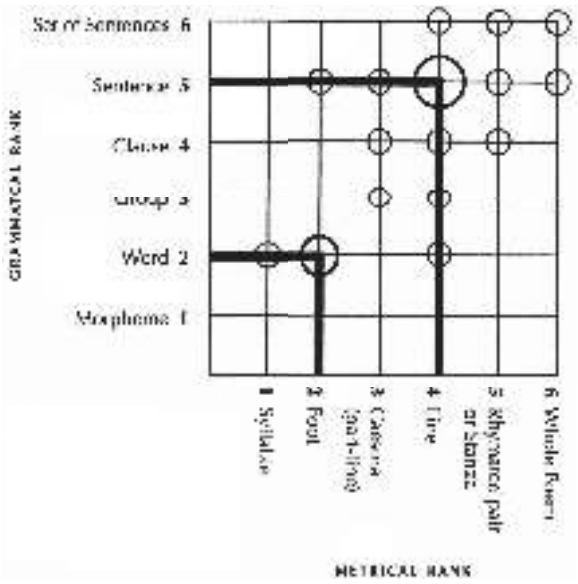


Fig. 1: The vertical axis is that of grammatical rank; the horizontal axis is that of metrical rank. Intersection points help to identify the poem, for instance the line arrangement [We96].

Step 2: Rhythmic Phrasing

The concept of rhythmic phrasing was developed by Richard Cureton. For Cureton, rhythm embraces what has traditionally been regarded as very different kinds of perceptual phenomena. Cureton divided rhythm - a global term covering all relations of strength and weakness - into three distinct components, which he terms meter, grouping, and prolongation. Meter involves the perception of beats in regular patterns; grouping involves the apprehension of linguistic units organized around a single peak of prominence; and prolongation involves the experience of anticipation and arrival. Curetons claimed a hierarchical, multi-dimensional, and preferential treatment of poetic rhythm, going back to [LJ83] treatment of rhythm in Tonal Music. Lerdahl and Jackendoff claimed four different rhythmic dimensions: a) The grouping structure in terms of a hierarchical segmentation, b) the metrical structure in terms of a regular alternation of strong and weak beats at a number of hierarchical levels, c) the time span-reduction in terms of an organizations uniting time-spans at all temporal levels of a work, and d) the prologational reduction in terms of a ‘psychological’ awareness of tensing and relaxing patterns in a given piece.



Fig. 2: Lerdahl and Jackendoffs theory of music is based on four separate hierarchical structures and reductions: a grouping structure, a metrical structure, a time-span reduction, and a prolongation reduction (after [LJ83]).

Step 3: Mapping Rubato and Prosodic Phrasing

As a result, the prosodic hierarchy to be considered for free verse is considerably more complex than for metric poetry and our working hypothesis of this hierarchy is depicted in Figure 3 (left). As can be seen, all levels of the linguistic hierarchy can carry poetic prosodic meaning, from the segment up to the periodic sentence. Based on this prosodic hierarchy, Figure 3 (right) depicts a categorization of some poets' works along two axes, the governing prosodic unit (x-axis) and the degree of iso/heterochronicity, or regularity of temporal arrangement (y-axis), according to the concept of grammetrical ranking mentioned in Figure 1. The respective rhythm derives from the combined prosodic units and the degree of its isochronic (or heterochronic) succession. The green lines are meant as a localization of poets according to the interplay of grammetrical ranking and prosodic succession. The blue brackets mark the time span reduction (Rubato) as well as the prolongational reduction (Phrasing). According to the idea of time-span-reduction, the rubato is caused by a deviation from the isochronous rhythm. And according to the idea of prolongational reduction, the phrasing is divided into three different articulation techniques (legato, portato, staccato).

5.2 Digital Method

A prerequisite for computing the patterns mentioned is to create a text-speech alignment for the written poems and spoken recordings. In a next step, we extract phonological prosodic features such as ToBI labels [Si92]. Regarding higher-level prosodic analysis and feature extraction, poems will be split into prosodic segments and the combination of these prosodic segments will be assigned to types of rhythm. These patterns are mentioned in 4.3. In addition, we use unsupervised learning, such as clustering techniques and outlier detection in order to steer the manual philological analysis towards potentially interesting parts and phenomena in the large corpora. We use existing meta-information (e.g. poetic type) to train classifiers. In our procedure, we will analyze classifier models with the aim of generating explanations for poetic categorization (e. g. RIPPER [Co95] induces rule-based models that are easy to analyze), and these explanations can be valued (and in the strongest case rejected) by the human analyst. In this way, the human expert is able to steer the prosody modeling process away from computationally optimal but philologically ungrounded decision-making towards those aspects of poetic prosody that are deemed philologically relevant. Focussing

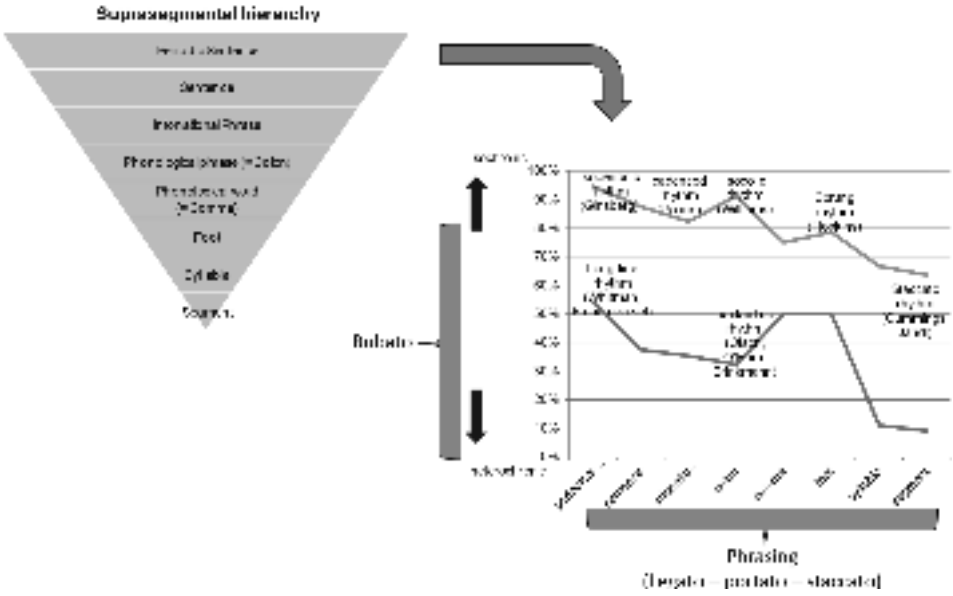


Fig. 3: Working hypothesis for a prosodic hierarchy for *free verse poetry*, as well as a placement of poetic styles along the two axes governing unit and regularity of temporal arrangement.

on the 17 rhythmic patterns in section 4.3, we will identify all of them by using either manual or automatic detections. We will use the following tools (we write also the related rhythmical patterns which can be extracted using these tools):

1. **PoS-Tagger**: the PoS tagging tool (e.g. [Sc17]) will identify the linguistic unit dominating each line of a poem. This could be a periodic sentence (Pattern 1), a whole sentence (Pattern 2), a clause (Pattern 3, 7 and 8), an elliptic phrase (7, 8, 10, 16), or an agrammatical expression (11, 12, 15, 16).

2. **Forced Alignment**: the forced alignment toolkit (Sphinx [Wa04]) will help us to combine audio and text analysis for the Batch Alignment as well as the Disfluency detection (7, 15, 16). In these cases the audio contains skipped words as well as repeated words or phrases.

3. **Intonation Annotation**: the AuToBI [Ro10] toolkit will be use to identify the intended prosodic grouping of a poem as well as the pitch accents and boundary tones in order to differ between stressed and unstressed enjambements (7, 8).

4. **Pause and Phrase Recognition**: The *Praat* [BW17] or *Wavesurfer* programs are used for prosodic phrase recognition as well as break identification (3, 5, 7, 8).

5. **Tempo**: The *Sonic Visualizer* [Vi17] tool will help us to annotate the Bar and Beat Numbers as well as to map Rubato and Loudness.

6 Data Analysis

A total of 358 poets (210 german and 148 english) will be analyzed, each of them reading about 12 poems, so we have 2292 german poems and 1239 english poems resulting a total of 3531 poems. By now, we structured and analyzed the data as follows: The acquired audio data is manually annotated by using a combination of tools including *Praat*, *Sonic Visualizer*, and PoS-Tagger. The number of audio files fitting to the categories mentioned above is as follows: longline poems (30), cadence (50), variable foot (70), syncopation (20), permutation (10), parlando (60), stressed enjambement (10), unstressed enjambement (100), loop (10), ellipse (50), lettristic decomposition (40), phonetic decomposition (30), sprung rhythm (40), free association (30), staccato (25), cut-up-rhythm (6), dialect (20). As long as we talk about patterns, we expect that the rhythmical patterns mentioned will appear in each poem at least 5 times. Figure 4 shows an example of the automatic analysis of pattern number 7 (a stressed enjambement). The break index indicates the incomplete syntax at the end of the first line (break index "4" at the end of "Als ich bei ihm war rückte er").

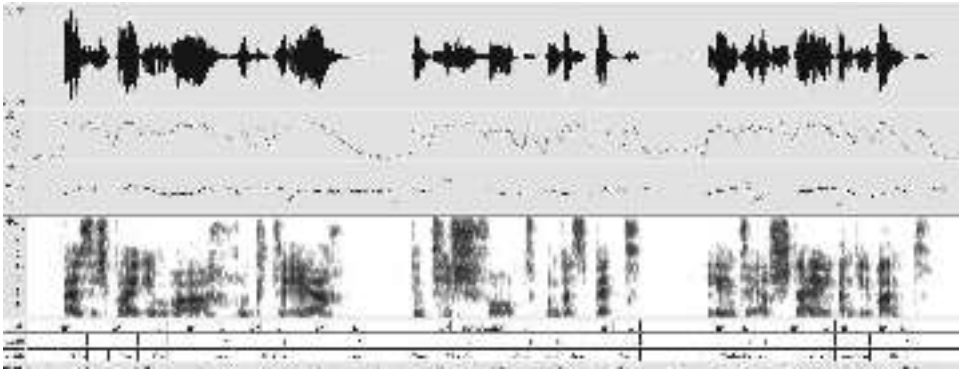


Fig. 4: Analysis of the first two lines in the poem "ALS ICH BEI IHM WAR" for the poet "Kerstin Hensel" shown from top to bottom: speech signal, intensity (dB), pitch (Hz), spectrogram, ToBI tones, ToBI breaks, word alignment, and time.

7 Conclusion and Future Work

In the long run, our project will focuse on pattern understanding using a supervised form of learning. The philological "teacher" gives examples for the automatic classification: first some examples to bootstrap ToBI analysis, then the poetic classification as outlined above. Our learning technique may be based on machine learning techniques like Hidden Markov Models (HMMs), general Bayesian networks, other techniques available in common tools

such as WEKA [Ha09], or deep learning techniques like Convolutional Neural Networks (CNN oder ConvNet). We will then analyze the computational models' success (in terms of the correctness of the decisions taken on previously unseen data) and their reasoning (in terms of the decision criteria used and how well they align with philological intuition). As one further point, we will make use of unsupervised machine learning techniques (e.g., clustering) to discover further hidden patterns in the audio and textual data, in particular for poems that are not well represented by any of the rhythmical types (1-17) mentioned and which may potentially enhance our understanding of *free verse prosody*. This step will use the machine-learned model by looking at borderline cases, analyzing miscategorizations, examining 'outliers', and using search patterns for prosodic aspects of poetry rather than a laborious manual search.

8 Acknowledgements

This work is funded by the Volkswagen Foundation in the announcement 'Mixed Methods in the humanities? Funding possibilities for the combination and the interaction of qualitative hermeneutical and digital methods' (funding code 91926 and 93255).

References

[Be97] Berry, E.: The Free Verse Spectrum. College English, 59(8):873–897, 1997.

[Bo11] Bobenhausen, K.: The Metricalizer – Automated Metrical Markup of German Poetry. In: Current Trends in Metrical Analysis. Peter Lang, Bern, pp. 119—131, 2011.

[BW17] Boersma, P.; Weenink, D.: , Praat: doing phonetics by computer [Computer program]. Available on `http://www.praat.org/`, 2017. Last accessed at 24. May 2017.

[Co95] Cohen, W. W.: Fast Effective Rule Induction. In: Proceedings of the Twelfth International Conference on Machine Learning. Morgan Kaufmann, pp. 115–123, 1995.

[Co98] Cooper, G. B.: Mysterious Music: Rhythm and Free Verse. Stanford University Press, 1998.

[DP14] Delmonte, R.; Prati, A. M.: SPARSAR: An Expressive Poetry Reader. In: Proceedings of the 14th Conference of the European Chapter of the Association for Computational Linguistics, EACL 2014, April 26-30, 2014, Gothenburg, Sweden. pp. 73–76, 2014.

[Fi00] Finch, A.: The Ghost of Meter: Culture and Prosody in American Free Verse. University of Michigan Press, 2000.

[Ga85] Gates, R. L.: The Identity of American Free Verse: The Prosodic Study of Whitman's 'Lilacs'. Language and Style, (18):248—-276, 1985.

[Ga87] Gates, R. L.: Forging an American Poetry from Speech Rhythms: Williams after Whitman. Poetics Today, 8(3):503–527, 1987.

[Ha80] Hartman, C.: Free Verse: An Essay on Prosody. Princeton, NJ: Princeton University Press, 1980.

[Ha09] Hall, M.; Frank, E.; Holmes, G.; Pfahringer, B.; Reutemann, P.; Witten, I. H.: The WEKA Data Mining Software: An Update. SIGKDD Explorations, 11(1):10–18, 2009.

[Hr60] Hrushovski, B.: On Free Rhythms in Modern Poetry. In (Sebeok, Thomas A., ed.): Style in Language. Cambridge: MIT University, pp. 173—190, 1960.

[Ka74] Kafalenos, E.: Possibilities of Isochrony: A Study of Rhythm in Modern Poetry. Washington, 1974.

[LJ83] Lerdahl, F.; Jackendoff, R.: A Generative Theory of Tonal Music. MIT Press series on cognitive theory and mental representation. MIT Press, 1983.

[LMSJ14] Lüdtke, J.; Meyer-Sickendieck, B.; Jacobs, A. M.: Immersing in the Stillness of an Early Morning: Test ing the Mood Empathy Hypothesis of Poetry Reception. Psychology of Aesthetics, Creativity, and the Arts, 8(3):363–377, 2014.

[MS12] Meyer-Sickendiek, B.: Lyrisches Gespür: Vom geheimen Sensorium moderner Poesie. Fink, Wilhelm, 2012.

[Pe83] Perloff, M.: In (Terrell, Carroll F., ed.): William Carlos Williams: Man and Poet. The National Poetry Foundation, Orono, USA, chapter To give a Design: Williams and the Visualization of Poetry, pp. 159–186, 1983.

[Ro10] Rosenberg, A.: AuToBI - A Tool for Automatic ToBI Annotation. In: Proceedings of INTERSPEECH. ISCA, Makuhari, Chiba, Japan, pp. 146–149, September 2010.

[Sc17] Schramm, S.: , POS tagging: Parts-of-speech.Info. Available on `http://parts-of-speech.info/`, 2017. Last accessed at 20. June 2017.

[Si92] Silverman, K.; Beckman, M.; Pitrelli, J.; Ostendorf, M.; Wightman, C.; Price, P.; Pierrehumbert, J.; Hirschberg, J.: ToBI: A Standard for Labeling English Prosody. In: International Conf. on Spoken Language Processing (ICSLP). volume 2, Banff, Alberta, Canada, pp. 867–870, October 1992.

[Si97] Silkin, J.: The Life of Metrical and Free Verse in Twentieth-Century Poetry. Palgrave Macmillan UK, 1997.

[Vi17] Visualiser, S.: , Sonic Visualiser. Available on `www.sonicvisualiser.org/`, 2017. Last accessed at 19. June 2017.

[Wa00] Wahlster, W.: Verbmobil: Foundations of Speech-to-Speech Translation. Springer, 2000.

[Wa04] Walker, W.; Lamere, P.; Kwok, P.; Raj, B.; Singh, R.; Gouvea, E.; Wolf, P.; Woelfel, J.: Sphinx-4: A Flexible Open Source Framework for Speech Recognition. Technical report, Mountain View, CA, USA, 2004.

[We71] Wesling, D.: The Prosodies of Free Verse. In (Brower, Reuben A., ed.): Twentieth-Century Literature in Retrospect. Cambridge, MA: Harvard University Press, pp. 155–187, 1971.

[We96] Wesling, D.: The Scissors of Meter: Grammetrics and Reading. University of Michigan Press, 1996.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 2201

Evaluation of CNN-based algorithms for human pose analysis of persons in red carpet scenarios

Danny Kowerko[1], Daniel Richter[1], Manuel Heinzig[2], Stefan Kahl[1], Stefan Helmert[1], Guido Brunnett[1]

Abstract: We evaluate two CNN-based algorithms for keypoint-based human pose analysis on two image test sets containing red carpet scenarios, one taken under controlled conditions in a TV studio environment and another more heterogeneous data set taken from FlickR without any restriction but to contain a red carpet. We focus on the pose of persons standing directly on the red carpet. A web application is presented allowing collaborative work to confirm or modify already pre-localised body keypoints given from the method presented in [Ca17]. These annotations helped to quickly define ground truth for the subsequent evaluation of several hundreds of persons standing on a red carpet. An own evaluation formalism is presented that adopts to the size of the respective keypoints. The TV studio data set includes coarsely defined body and head poses. Using the angular information, we are able to quantitatively define the optimum head pose angle range and limitations of facial keypoint determination.

Keywords: human pose estimation; person detection; computer vision; image processing

1 Introduction

Human pose estimation and analysis is a state of the art topic, relevant for assisted living, security, robotic or metadata enrichment of images with persons in general. Existing human pose data sets have brought up their own specific evaluation metrics which are required to determine method accuracy of pose estimation algorithms [Li14]. A common approach is to classify the human body into keypoints, i.e. the head with eyes, nose, mouth and ears, the upper body with wrists, elbows, shoulders and neck, and the lower body with hips, knees and ankles. Benchmarks exist for example for the MPII data set, separated into each single keypoint [An14]. The x,y–coordinates may be exploited to analyse or discriminate human poses like waving or shaking hands. Automatic classification of human poses proves useful in photography intense events like red carpet scenarios, press conferences, sport events, ceremonies, weddings and many more. Here we like to focus on two recently published algorithms capable of extracting body keypoints of single or multiple persons, using trained convolutional neural networks [We16, Ca17, Ca16] and apply them to two red carpet

[1] Technische Universität Chemnitz, Straße der Nationen 62, 09111 Chemnitz, Germany, firstname.lastname@cs.tu-chemnitz.de
[2] Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, 09648 Mittweida, Germany, lastname@hs-mittweida.de

doi:10.18420/in2017_219

scenario test sets, one recorded in a TV studio under laboratory conditions and a more heterogeneous set crawled from FlickR. We present a keypoint-specific evaluation measure including a keypoint-specific size scalable tolerance zone for classification, an approach partially used in [Li14] and evaluate both sets in terms of recall, precision and accuracy of keypoint extraction. Therefore we developed a model-driven annotation tool allowing for collaborative annotation/correction of already pre-classified body keypoints.

2 Dataset Description

Two data sets showing persons on and next to a red carpet were evaluated by the two already mentioned CNN-based methods [We16, Ca17, Ca16]. The FlickR-based test set is an arbitrary collection of images crawled without any restriction but to contain the search term "red carpet". In contrast, we recorded our own data set in a TV-studio under rather controlled conditions, which are different camera perspectives, different persons on the red carpet and different poses of body and head with respect to the camera. Both are explained in more detail in the following.

FlickR-based data set: Data were crawled from FlickR without any restrictions but the search term "red carpet" to represent a heterogeneous data set as they might exist directly after a series of photo-shootings in different locations and/or events. Our test set consists of 100 images, where 250 persons standing on red carpets were analysed. It contains male and female persons, alone or in groups with other persons and in different distances from the camera.

"Media Informatics" TV studio data set: This data set consists of about 850 images showing pose variants of one person standing on a red carpet surrounded by a group of other people next to the red carpet, each recorded by 4 cameras at the same time with a tolerance of 1 s time delay due to manual triggering. Two cameras record the scenery from the same angle but at different height. There are 10 male and one female persons in the age of 20–35 years on the red carpet, one at a time, rotating their body counter clockwise in roughly 30° steps, where each body position is divided into 3 head rotations relative to the body (left, straight, right). The arms are either hanging down or are raised up. Some example images are given in Figure 1.

3 Model-driven Annotation

For quick generation of ground truth data for the two image test sets, a web application is used. The self developed application consists of a server written in Python and a client written in JavaScript. It was used before for other annotation purposes and got several improvements and extensions to serve the special needs of this use case.

As shown in Figure 2 the GUI is kept quite functional. The main part consists of the image, that should be annotated. On the top row there are options to select a data set and one or

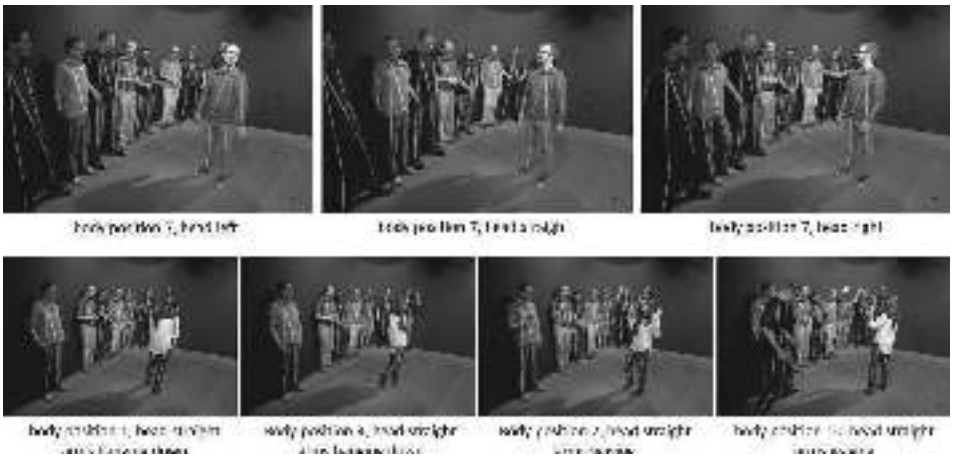


Fig. 1: Examples of the red carpet data set recorded in the “Media Informatics” TV studio showing the keypoint results of Cao et al. [Ca17] (top) A male adult person standing on the red carpet with fixed body position and 3 different head orientations. (bottom) A female adult person looking straight in 4 different body positions and two different arm poses.

more label sets to label the images in the data set. For multi-user-functionality a user-ID has to be chosen. The rightmost part of the top row gives some hints to the active tool, that can be chosen on the left side. From top to bottom there are different annotation options: bounding boxes (rectangles), square bounding boxed (squares), lines, dots, global labels (whole image), edit mode (change the coordinates of the different shapes) and rating mode (another form of global labels that rate the image on a 1 to 5 star scale).

For this scenario only the dot tool is used to create new labels and the edit tool to change the position of existing labels. The right side shows the different labels. For each label an instance of the selected label set has to be chosen and there is the option to copy this selection to all following labels, as well as the option to delete all labels of the same kind or to only delete the selected label. The coordinates are also shown and a click on them switches to edit mode for this x,y–pair. Normally, in edit mode a click somewhere on the image activates the nearest pair of coordinates for editing and a second click on the image sets the new position. If a pair of coordinates is activated for editing, the whole label can be deleted by pressing the key “D” on the keyboard. Therefor one don’t have to find the right label box in the list, but only have to select the wrong label in edit mode.

While using the dot tool, a click on the image sets the position of a new label that is appended to the bottom of the list on the right side. The visual representation of the label on the image and the label box on the right side share the same colour for better identification. To increase the usability with many labels, the visual representation starts to blink, when the label box is hovered by the mouse pointer. The same effect is used as preview for the delete functions



Fig. 2: Screenshot of the web-based annotation showing a male adult person standing on the red carpet marked by 16 of 17 possible body and face keypoints (coloured squares) available from the method presented in [Ca17]. The panel on the right exemplifies some keypoint locations and label modification functionality.

so that the labels to be deleted can be easily identified. A further usability improvement is achieved by assigning the same label colour to all labels of the same kind, e.g. a left eye is always light blue and a right eye is always dark blue as shown in the figure.

The default size of the image is chosen to make it fit in the middle of the screen. As cameras are able to take photos that have a much higher resolution than computer screens, there is the possibility to zoom into the image, which helps to click on a certain position. This is done via the mouse wheel. While zooming, the image stays focused at the current mouse cursor position on the image. By pressing the right or middle mouse button the zoom resets to default size.

After all labels are finished for one image, the application can send the results to the server in JSON-format. This is triggered by a click on the right symbol in the control menu on the bottom of the image. If there are no errors with the annotation (i.e. labels with missing instances of one or more label sets), the server saves the annotation in JSON- and/or XML-format and delivers the information for the next image to be labeled. Other possible actions in the control menu are from left to right: going one image back and reloading the last annotated image, deleting the last label, deleting all labels and even deleting the whole

image, as there may be errors in the image set. On the bottom of the screen there is a status bar that gives some information about the image name and the position in the data set.

The client-server architecture is used for multi-user-functionality. Different users on several clients can use the application at the same time and collaboratively work together. Each user just needs a recent web browser, that can render the GUI and supports the used JavaScripts. As the jQuery-Framework is used widely, there should be cross-browser-compatibility, but the application is tested mainly on Mozilla Firefox and Google Chrome. Normally, each user gets different parts of the data set but there is also the possibility to get multiple annotations from different users for each image. The server is written in Python and therefore usable on any server that supports this script language and not bound to any special system.

The main extension, that got implemented for this test case, is the possibility to load existing annotations together with the image. The server can parse different annotation formats and sends these labels together with the image to the client, when a new image is requested showing the labels superimposed to the image. This is used in this test case for quick generation of ground truth data. As no complete annotation has to be done, this idea is called model-driven annotation [Ri15]. The output of an existing algorithm is presented – in this case the promising pose estimation algorithm from Cao et al. [Ca17] – and corrected by the users within this web application. This approach was used as it is much faster to simply adjust the position of some labels than to create them from scratch.

4 Evaluation of human pose keypoints

There are different evaluation measures for human pose analysis. One of them is a metric presented in [Li14] which measures the overall overlap between coordinates of the ground truth (GT) and detected keypoints. Alternatively, a tolerance radius around the GT coordinates defines the spatial limit of detected coordinates to be a true positive (TP) or false positive (FP). The algorithms under investigation estimate the positions of the keypoints summarised in Table 1. Adopted from the evaluation concept presented in [Li14], we define each keypoint's extension relative to the largest keypoint, which is the hip (see last column of Table 1). The absolute values within an image were scaled from the vertical distance between ankles and vertex or the largest available vertical keypoint pair distance (e.g. eyes to hips, if legs are not within the image).

A collection of examples visualising our evaluation scheme with the aforementioned metric is shown in Figure 3. As mentioned our annotations rely on the pose estimations of [Ca17]. The ground truth achieved through manual corrections is visualised by circles. Their colour represents whether the respective keypoint was correctly localised within the tolerance radius (TP) or whether it was not detected due to false detection (yellow circles) or due to non-detection (blue circles). For detections provided by the respective algorithm, we use a green cross to mark the location of a true positive (TP) and yellow ones to mark false positives (FP), i.e. a detection lying outside the region defined by the tolerance radius. In

Tab. 1: Accessible classes of human body keypoints with different methods methods and their relative size scaling used for evaluation.

keypoint	abbreviation	[Ca17]	[We16]	Evaluation [Li14]	scale (%)
vertex	vert	-	+	-	
neck	neck	+	+	-	
eyes	Leye, Reye	+	-	+	23.4
ears	Lear, Rear	+	-	+	32.7
nose	neck	+	-	+	24.3
shoulders	Lshoulder, Rshoulder	+	+	+	73.8
elbows	Lelbow, Relbow	+	+	+	57.9
wrists	Lwrist, Rwrist	+	+	+	57.9
hips	Lhip, Rhip	+	+	+	100.0
knees	Lknee, Rknee	+	+	+	81.3
ankles	Lankle, Rankle	+	+	+	83.2
sum		18	14	17	

Figure 3, we exemplify typical factors leading to FP-FN combinations: a) overestimation of eyes shifted towards the eyebrow, b) local blur due to motion, c-d) localisation of keypoints on other persons, especially when they are in opposite directions and next to each other, where e.g. both person's left arms are close, e) increasing inaccuracy of location due to occlusion or textures by clothes, f) occlusions by own body parts and g) similar to c) confusion of extremities with those of other persons, especially partly covered persons. In general one might argue to scale the tolerance radii somewhat larger, since relative positions of keypoints might still prove to be useful for simple behaviour estimations.

Recall (r), Precision (p) and F1 measure (F1) of each body keypoint were determined by a summation of the number of TP, FP and FN over all persons defined as GT within all images of the respective data set. From these sum values we calculated r, p and F1, where Figure 4 shows F1 as function of the body keypoints mentioned in Table 1 derived from the method of Cao et al. [Ca17]. The error bars mark the boundaries given be r and p. The most accurate keypoints in the TV studio data set are the ones from the lower body with almost 100 % accuracy, which is most probably due to the fact that there are almost no occlusions with other persons. The lowest F1 measure values obtained facial keypoints like eyes, ears and nose. The eyes are systematically localised towards the eyebrow, while ears are often partially hidden due to the persons hair. The accuracy of arm localisation is decreasing from shoulder to the wrist, in many cases due to misinterpretations with extremities of other neighbouring persons. Other reasons for localisation inaccuracy is the fact that hands and elbows are subject to motion and thus blur impeding the algorithm's localisation precision. The FlickR data set leads to generally lower accuracy. The inaccuracy of the lower body might be due to the fact that in real world red carpet scenarios women are more in the focus of photographers and often wear skirts or long dresses in these kind of event leading to more occlusion of knees and feet. Additionally, there is a distinct number of images



Fig. 3: Examples for Ground Truth visualisation and the classification into TP, FP and FN according to scaled tolerance radii. Typical false keypoint detection problems marked in yellow and blue are collected in a) to g) and explained in more details within the text.

with small groups of celebrities standing very close to each other and partially embracing each other. To disentangle such multi-person poses seems very challenging to these kind of algorithms. Only the results for eyes and ears are somewhat better in the real world data set from FlickR, which might be due to the fact that photographers select more frontal head perspectives for aesthetic reasons. The second pose estimation algorithm from [We16] gives qualitatively similar results as shown in the right of Figure 4. Lower body keypoints are localised better than the ones from upper body, but in general the performance is somewhat below the method of Wei et al. The comparably low accuracy for the FlickR data set is attributable to the fact of having multiple persons on the carpet and not all persons shown as full body or the body is subject to occlusions. In such cases, the algorithm tends to fail. To prove the multiple-person problem, Figure 4 includes a separate evaluation (marked by red open circles) of filtered images from the FlickR data set where only a single person is located on the red carpet, which shows a distinct rise in detection accuracy. Ankle and knee deviations most likely stem from their occlusion by long evening dresses or skirts.

The effect of head orientation with respect to the camera is shown in Figure 5 for eyes and ears. Clearly, there is an optimal range where these keypoints are well detected: coarsely for frontal face imaging until about 90 degree, whereat the eye which is more apart from the camera becomes increasingly worse localised. This might be an expected observation, but can be quantified to determine the angle resolution limits of a method. For the angle

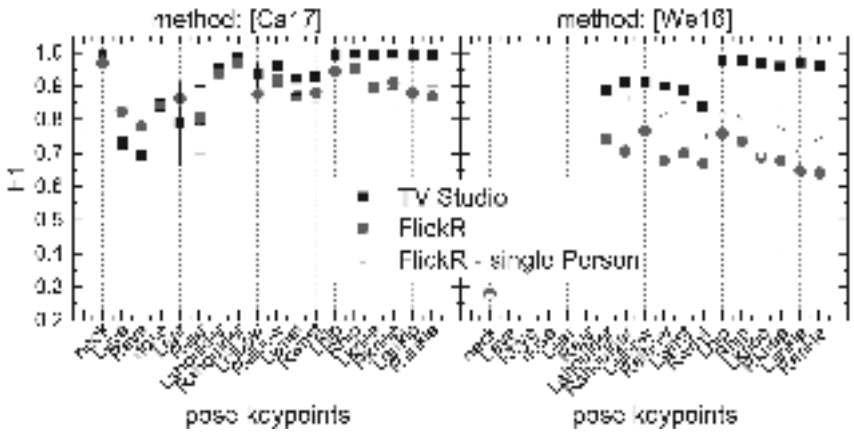


Fig. 4: Evaluation results of 2 pose estimations methods for two given red carpet data sets.

range without data points, keypoints are most probably neither detectable any more by the annotator nor by the methods.

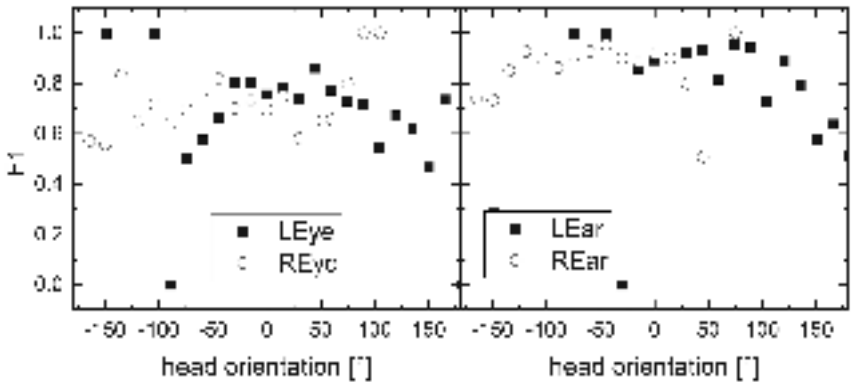


Fig. 5: Evaluation results of facial keypoints upon variation of the head pose applying [Ca17].

5 Conclusion and Outlook

We have summarised results from two human keypoint detection algorithms based on convolutional neural networks. The results are quite promising but also revealed weaknesses. If persons are well isolated, results are outstanding. Problems rise with increasing body or head rotation which was exemplified by systematically changing the angle dependency

of the head in the TV studio red carpet data set. Further problems were observed when critical distances or distinct relative positions are taken by the person within an image. Still all accuracies are above 70%, especially those of the lower body or of keypoints that have less degrees of freedom to move in typical red carpet scenarios where people usually move slowly or stand still. Our real world data set showed worse results than the laboratory data set, most probably due to the number of people standing next to each other on the red carpet and due to the clothing they wear. More elaborated evaluation test sets should include systematic changes of the worn clothes, as this is an issue for occlusion especially in cases with long dresses and skirts. Furthermore, the body and head position should be more accurately determined using advanced methods for 3D human pose estimation. Finally, the results are promising to discriminate different gestures of persons standing on the red carpet and might even be usable for head and body angle estimations.

Acknowledgments.

This work was partially accomplished within the project *localizeIT* (funding code 03IPT608X) funded by the *Federal Ministry of Education and Research* (BMBF, Germany) in the program of *Entrepreneurial Regions InnoProfile-Transfer*.

References

[An14] Andriluka, Mykhaylo; Pishchulin, Leonid; Gehler, Peter; Schiele, Bernt: 2D Human Pose Estimation: New Benchmark and State of the Art Analysis. In: IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). June 2014.

[Ca16] Cao, Zhe; Simon, Tomas; Wei, Shih-En; Sheikh, Yaser: Realtime Multi-Person 2D Pose Estimation using Part Affinity Fields. CoRR, abs/1611.08050, 2016.

[Ca17] Cao, Zhe; Simon, Tomas; Wei, Shih-En; Sheikh, Yaser: Realtime Multi-Person 2D Pose Estimation using Part Affinity Fields. In: CVPR. 2017.

[Li14] Lin, Tsung-Yi; Maire, Michael; Belongie, Serge J.; Bourdev, Lubomir D.; Girshick, Ross B.; Hays, James; Perona, Pietro; Ramanan, Deva; Dollár, Piotr; Zitnick, C. Lawrence: Microsoft COCO: Common Objects in Context. CoRR, abs/1405.0312, 2014.

[Ri15] Ritter, Marc; Storz, Michael; Heinzig, Manuel; Eibl, Maximilian: Rapid Model-Driven Annotation and Evaluation for Object Detection in Videos. In (Antona, Margherita; Stephanidis, Constantine, eds): Universal Access in Human-Computer Interaction. Access to Today's Technologies, volume 9175, pp. 464–474. Springer International Publishing, Cham, 2015.

[We16] Wei, Shih-En; Ramakrishna, Varun; Kanade, Takeo; Sheikh, Yaser: Convolutional Pose Machines. CoRR, abs/1602.00134, 2016.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 2211

Automated Annotation of Sensor data for Activity Recognition using Deep Learning

Maik Benndorf, Frederic Ringsleben, Thomas Haenselmann and Bharat Yadav[1]

Abstract: Within this work-in-progress, we aim to automate the annotation of Sensor data for generating training data for Activity Recognition (AR) of multiple persons. Usually, the activities are executed and recorded from test persons under the supervision of an instructor, which may influence in many cases the natural behaviour of the test persons and the authenticity of the data. In this work, we suggest how this influence can be reduced and how the Sensor data can be annotated automatically by using video capturing, openpose[Ca17] for extracting human key points and a neuronal network to classify the activities. By automatically annotating the selected activities we show the feasibility of our approach.

Keywords: Activity Recognition; Automated Annotation; Sensor data; Openpose; Deep Learning

1 Introduction

Generating training data for activity recognition is a time consuming process. In many cases, activities are executed and recorded under the instructions of a supervisor. The work of the supervisor starts with the definition of the activities. Afterwards, he has to instruct the test person and supervise the whole process of recording. During this process, he has to create a protocol and after the recording, he has to annotate the activities usually manually. Therefore, the effort involved, increases with the number of test persons.

A side effect of this approach is, that the test persons do not behave naturally during the recording since they were guided all the time. One solution to this problem is to provide only general conditions to these test persons and let them act nearly independently. However, this may lead to a huge quantity of sensed data that has to be annotated manually.

With this work in progress, we aim to address an approach for automated annotation of sensor data of multiple persons, where the effort in annotating and the influence to the natural behaviour of the test persons should be minimized. Our approach is a conceptual process chain. Therefore, we use the approach where only basic conditions were provided to the test persons. For example, the instructor could tell the test persons: Please walk around, go upstairs and wait there a while. Thereby, the test persons are filmed by a camera. This

[1] University Of Applied Sciences Mittweida, Faculty of Applied Computer Sciences & Biosciences, Mittweida 09648, Germany {benndorf, ringsleb, haenselm, byadaf}@hs-mittweida.de

doi:10.18420/in2017_220

video serves as a protocol of what has been done at which time. On the other hand, we utilize this video to extract the activities of the test persons. We show the feasibility of our approach by one test person and three selected activities (standing, walking and walking upstairs) recorded in three different perspectives (front, side and back). Therefore, this work is organized as follows. The section 2 provides an overview of what has been done in this area. Section methodology (3) will describe our approach in more detail. Section 4 summarizes this work and finally provides an outlook on further work and future research.

2 Related Work

With this approach we left the area of signal processing and touched the area of multimedia annotation. In this case, we have to distinct between the annotation of images (human pose recognition) and the annotation of image sequences or videos (human activity recognition). A lot of work has been done in human pose recognition, shown in numerous publications like [An14; Ca17; Ra06; ROR08]. Therefore, basically the same strategies were used. The first part is to extract body from the image. Afterwards, the patterns thus obtained can be compared with known patterns in order to derive the human pose. In order to extract body parts from images there are different approaches. A relatively old one is based on limbs detection by using the Curvature Scale Space (CSS) [MM86]. In [RS06], they trained deformable models and use a conditional random field to determine the position of the body parts. One recent way in order to extract the positions of key-points is the Convolutional Pose Machines (CPM)[We16]. A Convolutional Neural Network (CNN) is trained to key-points like ankle, knee and hip. After the body parts have been extracted, they can be compared with known human poses. Therefore, multiple Datasets like [An14; KH09; Sz16] can be used.

This approach is also often used in images sequences or videos. So for example Openpose[Ca17] is a library for real-time multi-person key-point detection and multi-threading written in C ++ using OpenCV and Caffe[Ji14]. This is a further development of authors of CPM. Nevertheless, this library can only be used in order to extract the key-points of an image sequence or video. In order to get the activities from the poses, the poses are linked to each other. Some approaches [BN12; KHC10; KPH05] are using hidden Markov models for this. In [ROR08] they describe the steps to annotated the human movement in a image sequence using a human walk example. Therefore, they used a model of movement. In [PCZ15] the authors shows a way to improve the estimation by using the optical flow between neighbouring frames. In [Fa03] used the CSS to extract the pose. Afterwards, a matrix is created, whereby the transitions of the individual poses are charged with costs. Thus, the cost of the transition between two poses at which the person is initially lying and afterwards is walking are very high. So this problem is turned into an optimization task in which the path with the minimum costs through this matrix is searched. The authors solve this task by means of dynamic programming. The most of these approaches belong to the posed-base methods. In contrast to this are the dense trajectories in [Wa13]. This approach

is mainly based on the optical flow and uses for the detection of the human movement. In [CS14; Ke13; Ra16] the extraction of collective activities of multiple persons like “people playing basketball“ is done. Nevertheless, in our opinion, there is no approach that can extract the independent activities of multiple persons.

3 Methodology

Within this work in progress, we would like to show the feasibility of our approach. Therefore, our activities are executed by one test person. In future works, we look forward to expand this to multiple persons. During the recordings, our test person has performed various activities, which were taken from different perspectives (side, front and back). For this work, we decided using three of these activities (standing, walking and walking upstairs). So we could produce more than 60 minutes of video material.

3.1 Extraction of the Key-Points

The first step in our methodology is to extract all the key-points from the video. Therefore, we decided for the Openpose-library (described in section 2).



(a) Standing (side) (b) Walking (front) (c) Walking Upstairs (back)

Fig. 1: Annotated Images exported from the resulting Video of Openpose (the perspective is given in brackets)

This library currently supports 18 key-points, for example: neck, hip and ankles. The output of this library is on one hand a video, where the key-points are marked and the associated key-points (e.g. knee and hip) are connected by coloured lines. In Figure 1 example, the output for our test person performing the three activities from different perspectives can be seen. On the other hand, a JSON-file can be exported for each frame within the video. For each recognized person, this file contains all of the 18 key-points in the form of X-Coordinate and Y-Coordinate and the recognition-confidence for the key-point (can be seen in Listing 1).

```
{
"version":0.1,
"people":[{
"body_parts":[
123.45, 678.90 , 0.1234,...
]
}]
}
```

List. 1: Openpose: example JSON-file for one frame

From all those files we created a matrix where all the information for every single frame is stored. In order to make them comparable and size variant, the next step is to normalize all the key-points.

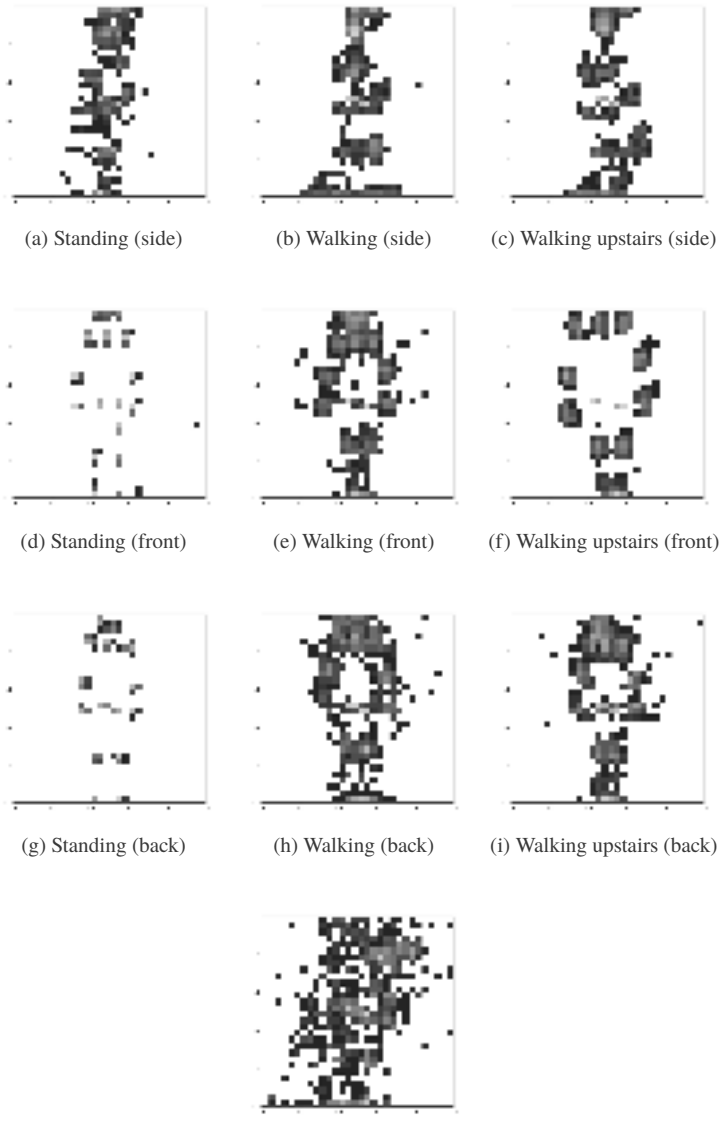
3.2 Normalization of key-points

Since the hip is near to the center of the human body, we decided for taking the hip as a central point for the normalization. The center point X is calculated by by determining the center between the right and the left hip. Subsequently, X is subtracted from all other key points. X is now located at the coordinates $0; 0$. Now we have to determine the absolute maximum value and divide each key-point by two times of the maximum value. Thus, the coordinates of all the key-points are in the range of -0.5 and 0.5. Finally, we have to add 0.5 to bring X to the center of the image. Thus, the hip is now located at the coordinates $0.5, 0.5$ and all other key points are in the range of 0 and 1 in both X and Y direction.

3.3 Build classification images from key points

For the purpose of classification, we need to store the movement patterns of the activities in images. Therefore, we decided to use two dimensional histogram (heatmaps) and a sliding window approach with a window length of 3 seconds. Hence, we generated up to $1,500$ heatmaps for the activities standing, walking, walking upstairs. All other activities are

defined as noise. Figure 2 shows examples of the histograms for all the selected activities for the three perspectives and one example image for noise. Finally, our dataset is built up from 1,500 heatmaps that can be used to classify the activities.



(a) Standing (side) (b) Walking (side) (c) Walking upstairs (side)

(d) Standing (front) (e) Walking (front) (f) Walking upstairs (front)

(g) Standing (back) (h) Walking (back) (i) Walking upstairs (back)

(j) Example Noise

Fig. 2: Heatmaps for the Activities

3.4 Classification

For the purpose of classification, we decided to use a CNN based Lasagne Library built up from the tutorial of [Ka]. We also have used the configuration of this tutorial: The Layers were organized as follows: INPUT, CONV, POOL, CONV, POOL, CONV, POOL, DENSE, DENSE, DENSE. Since the Convolutional Layers expects a 4-dimensional Input Layer the input shape looks like this:

```
INPUT: (None, 3, 64, 64)
```

Whereby, "None" is a placeholder for the number of images passed through the net, the parameter 3 corresponds to the number of dimensions (RGB) and the last two parameters indicate the size of the input image. Since the heatmaps are larger than these $64x64$ pixels, the heatmaps have to be scaled. We used a pools size of 2. The filter size is defined as $3x3$ without padding and the number of filters increases with every following convolution (64, 128, 256).

Hence, we trained our CNN with $1,500$ heatmaps in 100 epochs and split the whole dataset into 70% for training 15% for evaluation and 15% for the purpose of testing.

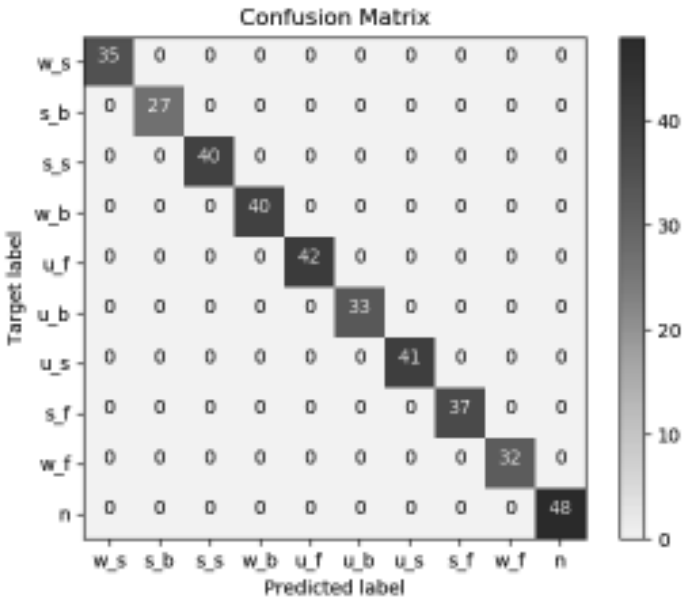


Fig. 3: Confusionmatrix

As it can be seen in Figure 3 we reached a total accuracy of 100 percent, supported by the confusion matrix. This is, of course, an extraordinary result that also raises the question of

whether the relatively complex methodology is necessary at all. We believe that this result is due to the fact that we were focused on only one test person and finally only three activities. In addition, we think that our methodology becomes increasingly necessary for our further work (more activities, mor persons). Nevertheless, it can be used as a proof of concept for our approach. Finally, we have to create an annotation file. Therefore, we write the outcome of each image into a textfile which is indexed by the starting frame number. This number can be used in order to map the recognized activity to the timing vector of the sensor data of the smart phone.

4 Conclusion and Outlook

In this work, we could show the feasibility of an automatic annotation of sensor data by one test person, one perspective of video filming and three selected activities. This can be taken as a proof of concept for our future works. The next steps are: we have to consider more activities, more perspectives in video filming and multiple persons in order to create a real automatic annotation tool by multiple persons for sensor data. Finally, we would like to compare the sensor data recorded by this approach with sensor data recorded by the traditionally approach in order to make the general influence on the natural behavior of the test persons visible.

Acknowledgement

This work is based on the ideas of the group pose analysis at the Chemnitz University of Technology. A special thanks to Danny Kowerko and Stefan Kahl for thought-provoking impulses and fruitful discussions.

References

[An14] Andriluka, M.; Pishchulin, L.; Gehler, P.; Schiele, B.: 2d human pose estimation: New benchmark and state of the art analysis. In: Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Pp. 3686–3693, 2014.

[BN12] Banerjee, P.; Nevatia, R.: Pose based activity recognition using Multiple Kernel learning. In: Pattern Recognition (ICPR), 2012 21st International Conference on. IEEE, pp. 445–448, 2012.

[Ca17] Cao, Z.; Simon, T.; Wei, S.-E.; Sheikh, Y.: Realtime Multi-Person 2D Pose Estimation using Part Affinity Fields. In: CVPR. 2017.

[CS14] Choi, W.; Savarese, S.: Understanding collective activities of people from videos. IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence 36/6, pp. 1242–1257, 2014, URL: http://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6654151/, visited on: 06/30/2017.

[Fa03] Farin, D.; Haenselmann, T.; Kopf, S.; Kühne, G.; Effelsberg, W.: Segmentation and classification of moving video objects. Handbook of Video Databases: Design and Applications 8/, pp. 561–591, 2003.

[Ji14] Jia, Y.; Shelhamer, E.; Donahue, J.; Karayev, S.; Long, J.; Girshick, R.; Guadarrama, S.; Darrell, T.: Caffe: Convolutional Architecture for Fast Feature Embedding. arXiv preprint arXiv:1408.5093/, 2014.

[Ka] Kahl, S.: Tutorial: Image Classification with Lasagne – Part 1 – Stefan Kahl Blog, URL: http://medien.informatik.tu-chemnitz.de/skahl/2016/10/20/image-classification-with-lasagne-part-1/, visited on: 06/11/2017.

[Ke13] Ke, S.-R.; Thuc, H. L. U.; Lee, Y.-J.; Hwang, J.-N.; Yoo, J.-H.; Choi, K.-H.: A review on video-based human activity recognition. Computers 2/2, pp. 88–131, 2013, URL: http://www.mdpi.com/2073-431X/2/2/88/htm, visited on: 06/30/2017.

[KH09] Krizhevsky, A.; Hinton, G.: Learning multiple layers of features from tiny images./, 2009.

[KHC10] Kim, E.; Helal, S.; Cook, D.: Human activity recognition and pattern discovery. IEEE Pervasive Computing 9/1, 2010.

[KPH05] Kellokumpu, V.; Pietikäinen, M.; Heikkilä, J.: Human activity recognition using sequences of postures. In: MVA. Pp. 570–573, 2005.

[MM86] Mokhtarian, F.; Mackworth, A.: Scale-based description and recognition of planar curves and two-dimensional shapes. IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence/1, pp. 34–43, 1986.

[PCZ15] Pfister, T.; Charles, J.; Zisserman, A.: Flowing convnets for human pose estimation in videos. In: Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision. Pp. 1913–1921, 2015.

[Ra06] Ramanan, D.: Learning to parse images of articulated bodies. In: NIPS. Vol. 1. 6, p. 7, 2006.

[Ra16] Ramanathan, V.; Huang, J.; Abu-El-Haija, S.; Gorban, A.; Murphy, K.; Fei-Fei, L.: Detecting events and key actors in multi-person videos. In: Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Pp. 3043–3053, 2016, URL: http://www.cv-foundation.org/openaccess/content_cvpr_2016/html/Ramanathan_Detecting_Events_and_CVPR_2016_paper.html, visited on: 06/30/2017.

[ROR08] Rogez, G.; Orrite-Uruñuela, C.; del Rincón, J. M.: A spatio-temporal 2D-models framework for human pose recovery in monocular sequences. Pattern Recognition 41/9, pp. 2926–2944, 2008.

[RS06] Ramanan, D.; Sminchisescu, C.: Training deformable models for localization. In: Computer Vision and Pattern Recognition, 2006 IEEE Computer Society Conference on. Vol. 1, IEEE, pp. 206–213, 2006.

[Sz16] Szegedy, C.; Ioffe, S.; Vanhoucke, V.; Alemi, A.: Inception-v4, inception-resnet and the impact of residual connections on learning. arXiv preprint arXiv:1602.07261/, 2016.

[Wa13] Wang, H.; Kläser, A.; Schmid, C.; Liu, C.-L.: Dense trajectories and motion boundary descriptors for action recognition. International journal of computer vision 103/1, pp. 60–79, 2013.

[We16] Wei, S.-E.; Ramakrishna, V.; Kanade, T.; Sheikh, Y.: Convolutional pose machines. In: CVPR. 2016.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 2221

Fast and accurate creation of annotated head pose image test beds as prerequisite for training neural networks

Danny Kowerko[1], Robert Manthey [1] Marcel Heinz[2], Thomas Kronfeld[2], Guido Brunnett[2]

Abstract: In this paper we present an experimental setup consisting of 36 cameras on 4 height levels covering more than half space around a centrally sitting person. The synchronous image release allows to build a 3D model of the human torso in this position. Using this so-called body scanner we recorded 36 different positions giving in total 1296 images in several minutes obtaining tens to hundreds of different pitch-roll-yaw head pose combinations with very high precision of less than ±5°. From annotation of 7 facial keypoints (ears, eyes, nose, corners of the mouth) in the 36 calculated 3D models of a human head/upper body, we automatically get 1296×7 2D facial landmark points saving a factor 36 in annotation time. The projection of the 3D model to the camera provides a foreground/background separation mask of the person in each image usable for data set augmentation e.g. by inserting different backgrounds (required for training convolutional neural networks, CNNs). Moreover, we utilize our 3D model in combination with textures to create realistic images of the pitch-roll-yaw range not assessed in experiments. This interpolation is ad hoc applicable to a subset of 10 central out of 36 total camera views where fine-grained interpolation of head poses is possible. Using interpolation and background masks for background exchange enables us to augment the data set easily by a factor of 1000 or more knowing precisely pitch, roll, yaw and the 7 annotated facial keypoints in each image.

Keywords: human pose; head pose; 3D body scanner; image annotation; test bed; pitch; roll; yaw

1 Introduction

Nowadays photography technically allows for taking hundreds to thousands of images of the same event within minutes. Photography-intense scenarios e.g. are red carpet, sports, ceremonial or press conference events. Unique to these images might be the fact that persons are appearing with only marginal differences in terms of perspective and angle of view relative to the camera. Systematic organization or selection of images by a person's head spatial posture is still limited using camera software or external image managing programs. Recent advances using convolutional neural networks allow for determination of human full body keypoints [Ca17, We16]. While in [We16] only head and neck coordinates are available, Cao et. al already provide the 2D coordinates of eyes, ears and nose [Ca17].

[1] Technische Universität Chemnitz, Junior Professorship Media Computing, Straße der Nationen 62, 09111 Chemnitz, Germany firstname.lastname@informatik.tu-chemnitz.de
[2] Technische Universität Chemnitz, Chair GDV, Straße der Nationen 62, 09111 Chemnitz, Germany firstname.lastname@informatik.tu-chemnitz.de

doi:10.18420/in2017_221

Both are technically usable to extract information about a human head's position. Typical benchmark data sets from this community mostly contain only the information of some keypoints [BM09, JE10, An14], but not the quantitative orientation of head in terms of pitch, roll and yaw. More sophisticated outcomes have recently been reported by [Fa11, FGVG11, Fa13, Ve17] which are supposed to provide high resolution in term of pitch, roll and yaw in depth images. They archieve a mean error and deviation of 3.6° ± 6° in pitch, 5.5° ± 6.2° and 4° ± 7° in yaw after training with 50000 synthetically generated image faces and a testing set of 10000 real images.

In the research of [Ni12] sequences of images and the optical flow parameters correlating them being used to estimate the position and pose of the head. With this reconstructions of nearly frontal faces being performed to analyze facial expressions. [MB11] used the texture to learn the mapping between frontal and non-frontal facial points, as shown in Fig. 1 for instance, to estimate the pose and the expressions of the face. And [RPP13] used a Coupled Scaled Gaussian Process Regression (CSGPR) to recognize pose-invariant facial expressions. With the use of Kinect sensors the approach of [SAHG15] combine Gabor filter-based features (GAB), Local binary pattern features (LBP) and Histogram of oriented gradients (HOG) to recognize the surface of a head to infer the position and pose. With this a high detection rate of the head pose be achieved within a range of ±30° at pitch, ±20° at roll and ±40° at yaw.

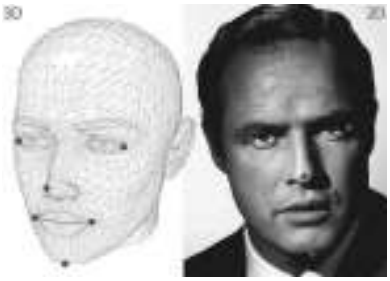


Fig. 1: Facial landmarks needed to calculate the pose of the head.[MA16]

2 Body scanner setup and 3D-Model calculation

A DSLR full body 3D scanner is based on photogrammetry to create a 3D scan. Photogrammetry works by finding shared features between multiple photographs to calculate depth. The body scanner consists of 36 DSLR cameras, which are aimed at the head and upper body of the subject. Each camera is equipped with a 35mm lens. The necessary brightness is provided by four studio flashes. An overview of the construction is shown in figure 2. The recording is triggered by an Arduino® board [AR17] connected to the remote cord of the cameras. This ensures almost simultaneous triggering of all cameras. At the beginning of a recording session, the subject is first focused by all cameras. Then the cameras switch to

manual mode in order to prevent further focusing which leads to an asynchronous behavior. In order to ensure a sufficient depth of field for the subsequent reconstruction, an f-number of $f/10$ is used. After each shot, the pictures are successively transferred to the computer which takes about $20-30s$. After that the system is ready for the next shot.

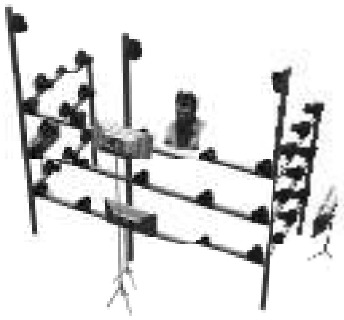


Fig. 2: Sceme of the current body scanner setup.

Agisoft Photoscan [Ag17] is used to reconstruct the 3D model. The software can be automatically controlled using a Python script, which allows the batch-processing of many independent recordings. The schematic sequence of the individual reconstruction steps is shown in figure 3. After loading the images of a recording, a background subtraction is performed. The software then calculates the relative position of the cameras. Therewith, the photogrammetry software will create a point cloud by locating features. In the last step, the 3D point cloud is triangulated and texturized. It takes two to four hours to process a 3D model using Agisoft photoscan depending on the desired resolution. These results were obtained on an Intel Xeon E5-1620 v2 CPU with 32GB memory and an Amd FirePro W8000 graphics card.



Fig. 3: Processing steps of the 3D model reconstruction.

3 Facial keypoint based calculation of pitch, roll and yaw

We implemented a simple annotation tool based on OpenGL in C++. Based on the reconstructed, triangulated 3D mesh, the 3D model is visualized and can be viewed from arbitrary angles and distances. We use the Möller-Trumbore ray-triangle intersection test [MT05] so that the user can mark arbitrary points on the surface of the mesh by clicking with the mouse. The software manages a set of 7 feature points:

- left and right ear (top/apex of the ear)
- left and right eye (center)
- tip of the nose
- left and right corner of the mouth

The user's task is to annotate these in all 36 3D models as precisely as possible using the built-in zoom and rotation functionality.

The 3D reconstruction done with Agisoft automatically provides the the position and orientation of each camera (extrinsic camera parameters). The instrinsic camera parameters are defined by the focal lenght and the sensor size. The data can be exportet to XML files, which we can use in the annotation tool. The extrinsic parameters can be represeneted by a transformation matrix composed from a rotation matrix and a scale matrix:

$$M_c = T_c \cdot R_c \qquad \forall c \in \{0, \ldots, 35\} \tag{1}$$

Let r be the index of the reference camera - the one camera the test subject was directly looking into. Then, the orientation of the head in all other cameras can be derived as

$$Q_c = R_r^{-1} \cdot R_c \qquad \forall c \in \{0, \ldots, 35\} \tag{2}$$

where Q_c denotes the rotation the test subject's head would have to carry out so that the reference camera would observe the image which was observed by camera c. We decompose this rotatation matrix into a standard rotation sequence with Yaw-Pitch-Roll angles, which allows us to annotate the head orientation to all images of a scan.

Using both the extrinsic and intrinsic camera matrices, we can derive standard view and projection matrices for the 3D rendering, which enables us to render the model - and the annotated viewpoints - from the exact viewpoint, and using the exact field of view, of each camera in the set. This can be used to create binary masks describing the converage of the actual model for each pixel in each camera image. Furthermore, the annotated 3D feature points can be projected into each camera image, yielding the exact 2D locations of these features - even if they are not visibile or obscured by other parts in the particular images.

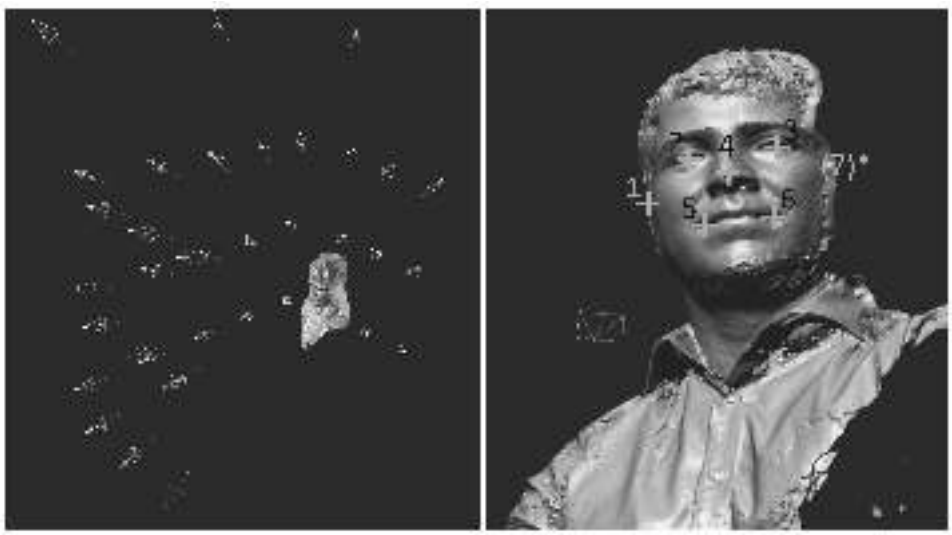


Fig. 4: 3D model of person: (left) Scheme representing the geometic relations relative to the surrounding cameras (red sensor marks the camera with frontal orientation relative to head) and (right) scheme of seven facial keypoints marked manually in 3D space. We use the following convention: 1 - right ear, 2 right eye, 3- left eye, 4 - nose, 5 - right corner of mouth, 6 - left corner of mouth, 7 - left ear. Note, that the left ear (7) is not captured by the body scanner in this view.

4 Data set description

An example of a single shot with 36 images together with the obtained calculated yaw, pitch and roll angles is shown in Figure 5. Watching frontally into the camera yaw, pitch and roll are set to zero. Using the keypoints of eyes and nose to define the plane relative to the camera sensor plane our test person showed the following systematic variations: yaw $=(-2.2 \pm 2.4)°$, pitch $=(39.1 \pm 6.0)°$, roll $=(-2.4 \pm 2.3)°$. This is the insecurity given by the person. The insecurity given by annotation of the respective keypoints was not determined to this end. Yaw was defined to be negative if the right part of face points towards the camera, and to be positive vice versa. Pitch obtains negative values moving the head down relative to the camera and roll is negative when the chin is closer to the camera than the vertex. Within cameras of equal height, only the one at coarsely the height of the head, the pitch remains roughly the same. In cameras recording at worm's or bird's eye view systematic shifts not only of yaw, but also of pitch and roll occur.

The assessed range of pitch, roll and yaw and their interrelations are illustrated in the 3D scatter plot of figure 6(a). The projections help identifying parameter space gaps that have not been measured directly in the 36 shots. Since roll was not actively changed relative to the camera gazed into, for yaw = 0○, we have no roll variation for any pitch and the roll range is



Fig. 5: Example of a single shot taken simultaneously by each camera and the obtained yaw, pitch and roll angles. Here, the person is heading towards the most left camera in the row of the category worm's eye view (#1). The black box marks 3D-models images where the head region is not distinctly affected by gaps.

limited to below ±45○. Such gaps in the parameter combinations have to be assessed using other head poses or by interpolation of the 3D head model. The yaw angle range obtained is coarsely even until ±90○. Due to the chosen head poses, we underrepresent large yaw angles (back view of the head).

5 Data set augmentation

For training neural networks data set augmentation strategies are versatile, e.g. the addition of noise, horizontal flip and arbitrary crop. In our dataset, we have additional methods at hand usable for augmentation. The approach presented here allows for discrimination between foreground (person/3D model) and background (everything but the person). Each image taken is provided with a (binary) mask as illustrated in the top of figure 7. The background mask is henceforth used to create arbitrary backgrounds around the person, e.g. indoor, outdoor, textures and colors. Additionally the size of the head/body maybe rescaled and placed to defined or random positions within the background image. The coordinates of the annotated head keypoints and the known orientation help scaling a bounding box for automatically cropping images to the head or head/upper body part as visualized in the right part of figure 7. The second approach for augmentation is the capability to interpolate camera positions, e.g. between each real camera. The obtained 3D model images from the respective views are subsequently calculated and added with the known textures giving a

photo-realistic pseudo-image of known head orientation. Technically, all gaps in between the point cloud depicted in the left of figure 6(a) can be filled, which is schematized by the black markers stemming from 5 additional linearly interpolated cameras between camera number 13, 14, 17 and 18. For these interpolated images, foreground/background masks are available too, thus augmentation by background exchange and upper body/head resizing is additionally possible. Since the body scanner setup presented herein covers only about a half space around the person in the middle, the 3D model is not fully closed but includes missing parts in the back towards the side of the upper body and head. Only the central cameras indicated by a black rectangular box in figure 5 provides a more or less complete image of the head. The neighboring cameras sights mostly capture some missing parts of the head from their field of view. It is reasonable to use such examples as representatives for occlusions. Finally, an automatic augmentation of the initial 1296 images could easily be more than a factor of 1000 in the given example: (36+18 interpolated) cameras · 36 head poses/directions · 50 backgrounds · 5 positions (within background image) · 3 body sizes = 1,458,000 images per person, recorded in 30 min and calculated in not more than 2 days computation time using high end consumer hardware. Further augmentation could be achieved using different head poses, illuminations and different crops. Which augmentation strategy will prove beneficial for determination of head poses in real life images will be investigated in detail in the future. Moreover, it seems plausible to train neural nets only for an individual person if her/his activity area is fixed and head orientation changes are small in time e.g. flight controllers in front of PC or car drivers.

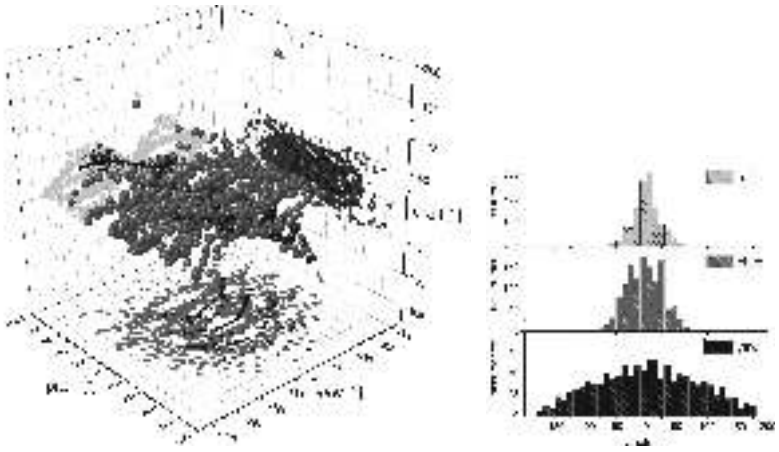


Fig. 6: 3D view of geometric restraints obtained using this 3D body scanner setup and the restricted view always towards a camera's lens. Black spheres and circles indicate interpolated camera positions as depicted in figure XYZ.

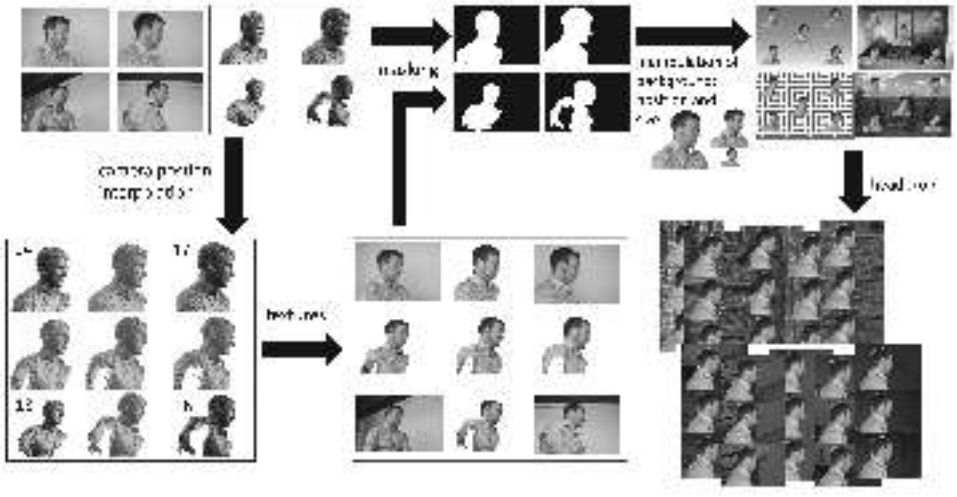


Fig. 7: Data set augmentation strategies as prerequisite for deep learning.

6 Conclusion

We have demonstrated the usage of 3D upper body and head scanner setup in the context of head pose analysis. We successfully created a head pose data set containing 1296 real images precisely documented in terms of pitch, roll and yaw with 6°, 2° and 2° accuracy. The obtained 3D model and the automatically obtained foreground/background masks as well as the possibility to create photo-realistic images from interpolated camera positions using the given textures enables a multitude of image augmentation strategies normally not at hand in 2D photography-based image data sets. The data set might be used for testing existing head pose analysis algorithms but provides additionally a good training data base for deep learning based approaches. Moreover, the workflow could be repeated easily to more persons enhancing the head/upper body feature diversity.

Acknowledgments

This work was partially accomplished within the project *localizeIT* (funding code 03IPT608X) funded by the *Federal Ministry of Education and Research* (BMBF, Germany) in the program of *Entrepreneurial Regions InnoProfile-Transfer*.

References

[Ag17] Agisoft LLC.

[An14] Andriluka, Mykhaylo; Pishchulin, Leonid; Gehler, Peter; Schiele, Bernt: 2D Human Pose Estimation: New Benchmark and State of the Art Analysis. In: IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). June 2014.

[AR17] ARDUINO AG.

[BM09] Bourdev, Lubomir; Malik, Jitendra: Poselets: Body part detectors trained using 3d human pose annotations. In: Computer Vision, 2009 IEEE 12th International Conference on. IEEE, pp. 1365–1372, 2009.

[Ca17] Cao, Zhe; Simon, Tomas; Wei, Shih-En; Sheikh, Yaser: Realtime Multi-Person 2D Pose Estimation using Part Affinity Fields. In: CVPR. 2017.

[Fa11] Fanelli, Gabriele; Weise, Thibaut; Gall, Juergen; Van Gool, Luc: Real time head pose estimation from consumer depth cameras. In: Joint Pattern Recognition Symposium. Springer, pp. 101–110, 2011.

[Fa13] Fanelli, Gabriele; Dantone, Matthias; Gall, Juergen; Fossati, Andrea; Van Gool, Luc: Random Forests for Real Time 3D Face Analysis. Int. J. Comput. Vision, 101(3):437–458, February 2013.

[FGVG11] Fanelli, Gabriele; Gall, Juergen; Van Gool, Luc: Real time head pose estimation with random regression forests. In: Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2011 IEEE Conference on. IEEE, pp. 617–624, 2011.

[JE10] Johnson, Sam; Everingham, Mark: Clustered Pose and Nonlinear Appearance Models for Human Pose Estimation. British Machine Vision Association, pp. 12.1–12.11, 2010.

[MA16] MALLICK, SATYA: , Head Pose Estimation using OpenCV and Dlib, 2016.

[MB11] Moore, S.; Bowden, R.: Local binary patterns for multi-view facial expression recognition. Computer Vision and Image Understanding, 115(4):541 – 558, 2011.

[MT05] Möller, Tomas; Trumbore, Ben: Fast, minimum storage ray/triangle intersection. In: ACM SIGGRAPH 2005 Courses. ACM, p. 7, 2005.

[Ni12] Niese, R.; Al-Hamadi, A.; Farag, A.; Neumann, H.; Michaelis, B.: Facial expression recognition based on geometric and optical flow features in colour image sequences. IET Computer Vision, 6(2):79–89, March 2012.

[RPP13] Rudovic, O.; Pantic, M.; Patras, I.: Coupled Gaussian processes for pose-invariant facial expression recognition. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 35(6):1357–1369, June 2013.

[SAHG15] Saeed, Anwar; Al-Hamadi, Ayoub; Ghoneim, Ahmed: Head Pose Estimation on Top of Haar-Like Face Detection: A Study Using the Kinect Sensor. Sensors, 15(9):20945–20966, 2015.

[Ve17] Venturelli, Marco; Borghi, Guido; Vezzani, Roberto; Cucchiara, Rita: Deep Head Pose Estimation from Depth Data for In-car Automotive Applications. arXiv preprint arXiv:1703.01883, 2017.

[We16] Wei, Shih-En; Ramakrishna, Varun; Kanade, Takeo; Sheikh, Yaser: Convolutional Pose Machines. CoRR, abs/1602.00134, 2016.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 2231

Preparing clinical ophthalmic data for research application

Miriam Rößner[1], Stefan Kahl [1], Katrin Engelmann[2], Danny Kowerko [1]

Abstract: This paper presents an analysis of clinical examination, diagnostic and patient data belonging to persons with eye diseases like age-related macular degeneration (AMD). Our purpose is to investigate potential correlations of extracted features to discover their impacts on the disease. This is a first step to the predictability of the progression of AMD based on a heterogeneous data set. We focus on the visual acuity as reasonable indicator for the progression of this disease and analyse its temporal trend to classify patients in winners, stabilisers and losers. We describe the retrieval of textual medical reporting data for optical coherence tomography images and evaluate the machine-readable categorisation of these texts. Additionally, we address the topic of ethical guidelines for the work with patients' data and discuss the potential and limitations of our data set in the context of obtaining structured (mass) data for training neural networks as future perspective.

Keywords: Age-related macular degeneration; Ophthalmology; Text mining; Data visualisation; AMD progression prediction

1 Introduction

In Germany, the rate of blindness increases with age [Wo15]. Until 2013, 20 to 30 % more patients with age-related eye diseases are to be expected. In 2012, 4 884 000 patients in Germany were found to suffer from macular diseases (degenerative and diabetes-induced). Estimations forecast 7.7 millions further patients in the age of 60+. For age-related macular disease (AMD), the cost of ambulant care are about 100 - 200 million Euro per year and another 100 - 150 million Euro for medication. The prevalence (diseased patients) and incidence (newly diseased patients) in Germany are 1.6 million and 305 000 patients, respectively. Common AMD therapies are capable of stabilising or improving, but not of healing the disease. Thus, 5 000 patients per year are expected to become blind. The so-called indirect costs of blindness are not determined in Germany, but estimated to be in a 1:3 ratio to the direct cost [HKN14]. Treatment of patients revealed differences, here coarsely categorised into winner, stabiliser and loser following the nomenclature presented in [Ge11]. There is an increasing demand to categorise patients in objective but also in differentiated manner, what is typically not the case in pharmacological approval studies. A way to tackle this problem is to (digitally) track diagnostic information regularly in

[1] Technische Universität Chemnitz, Junior Professorship Media Computing, Straße der Nationen 62, 09111 Chemnitz, Germany firstname.surname@informatik.tu-chemnitz.de
[2] Klinikum Chemnitz gGmbH, Augenklinik, Addresse, Germany emailaddress:k.engelmann@skc.de

doi:10.18420/in2017_222

time facilitating individual therapies that aim to preserve quality of vision for winners and stabilisers and to adapt medication/therapy for losers or low-responders. In our paper, we present a typical workflow to assess and explore clinical data in terms of retrieving machine-readable data allowing for statistical analysis of patient data, e.g. the kind of disease, diagnostic examinations, medication and medical diagnoses/classifications. Secondly, we discuss our current state of analysing more than 30 000 patient data, obtained from our cooperation partner the ophthalmic hospital of the Klinikum Chemnitz gGmbH (OHKC). Results are discussed in the context of recent scientific research projects demonstrating the high potential of convolutional neural networks that were trained with several ten thousands of classified patient data to classify ophthalmic diseases like diabetic retinopathy carried out as competition at Kaggle.com[3] and Google Deep Mind's health project [Gu16][4]. However, it remains unclear whether these techniques can improve current ophthalmologic assessments. Additionally, most research results are inaccessible to the public, which is mainly due to the massive financial potential of automated medical image processing. Google Deep Mind published some results regarding the evaluation of their approach in [Gu16] but did not include any information on algorithms and neural net architectures used. This way, reproducing the results is impossible, emphasising the urgent need for data sets and algorithms available to the research community. Furthermore, processing retinal fundus images is part of a very different domain of medical image data than retinal scans are: Retinal fundus images have higher resolution, sharper contours, significant less noise and, most importantly, are not necessarily suitable for the assessment of AMD progression due to the lack of thickness data.

A technical workflow of transferring and working with clinical data in accordance with ethical guidelines in Germany and the European Union has recently been published elsewhere [Ko17]. To tackle the question of winner, stabiliser and loser classification, we demonstrate limitations and potential of extracting visual acuity (VA) – measurement date time series (VAMDTS) of individual patients. Optical Coherence Tomography (OCT) images are explored in terms of their capability to synchronise them with patient's visual acuity examinations and diagnostic information. We evaluate our developed text-retrieval method in terms of accuracy to extract several AMD-related pathologies on a manually annotated ground truth data test set of 77 examinations from 3 patients.

2 Data set documentation and statistics

The data made accessible by OHKC is exported from two different databases. The first is the OCT device ("Spectralis" by Heidelberg Engineering) internal database that contains all image data of examinations. The device offers the possibility of an anonymised export of E2E files for that it overwrites the patient's name with the corresponding ID. The second database is "TurboMed" by CompuGroup Medical, a medical documentation system that

[3] https://www.kaggle.com/c/diabetic-retinopathy-detection, 30th of June 2017
[4] https://deepmind.com/applied/deepmind-health/, 30th of June 2017

contains all statements and analysis documented by the physicians. These data can be exported using the standard transfer format bdt. Our challenge is to extract information out of both databases and to combine it to gain knowledge about statistical aspects and correlations of different features.

2.1 Optical coherence tomography data

E2E files contain all examination data of one patient collected by the OCT device (in OHKC). One OCT scan produces 25 slices per examination and a fundus image including markings for the slice's positions. Both image types are readable and exportable using the Unified OCT explorer (UOCT) [Ro16]. Each slice exists as raw data and preprocessed data. Additionally two contours per slice are given. They mark the retinal layers "Bruch Membrane" (BM) and "Inner Limiting Membrane" (ILM) that enclose the retina and can be used for determining its thickness. The following metadata are included: the 8-digit hospital intern patient ID, 4-digit device internal patient ID, birth date, sex, laterality of each scan (left or right eye) and the corresponding examination dates. The contours are generated automatically by the device and can be corrected manually by the physicians. Because false contours are not always corrected the specifications are not 100 % reliable. Figure 1 shows an extracted OCT scan and corresponding contours. Approaches of improving BM and/or ILM localisation using image processing have been reported elsewhere [KRR14, Hu13].

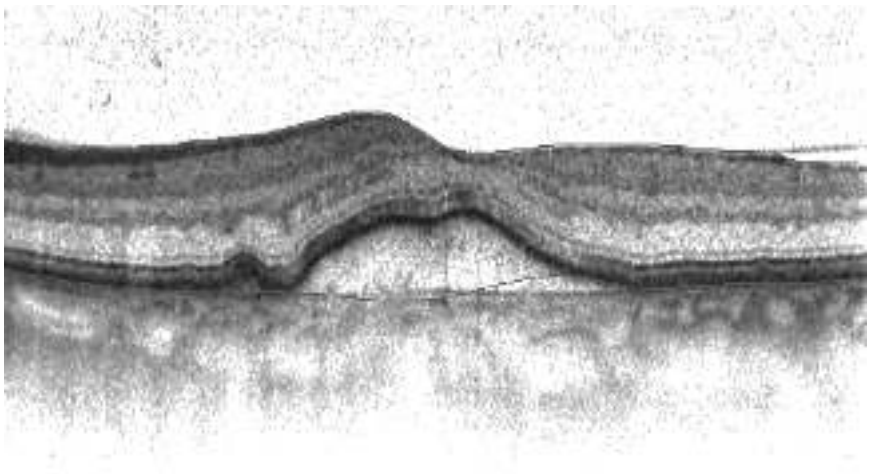


Fig. 1: Central OCT scan of a left eye with corresponding contours (red, ILM above, BM below)

2.2 Patient and diagnostic data

TurboMed is the medical documentation system used in the OHKC. It contains a collection of all examination and treatment data of every patient. The system offers the possibility to export the data using the transfer format bdt. The resulting export is a labelled text file. Every line contains a numeric code that specifies the line's content. Fore details see the official format description [IT16]. TurboMed as well as the bdt export file are divided in different sections containing different types of data, e.g. tables for visual acuity or listings of intended treatment appointments. The section we focus on in the first place is the section for text entries of different types defined by hospital internal standards. In bdt format the type of this section is indicated by the numerics 6330 followed by the specified section heading. The following lines labelled with 6331 contain the entry's content as continuous text. We are particularly interested in the entries labelled as OCT statements (heading: OCT). As important information for categorisation, we also extract the visual acuity tables. This data shows a more objective way to describe the course of disease (clear numbers) than the OCT statements that are more difficult to classify (text format). To make the text statements classifiable we convert them to fit into our developed uniform scheme shown in table 1.

Tab. 1: Classification categories for OCT reports

Category	Possibilities
Intraretinal fluid	true, false
Subretinal fluid	true, false
Subretinal fibrosis	true, false
RPE-detachment	true, false
Foveal depression	true, false
Central retina thickness	extracted value
Cicatrice	true, false
RPE layer	continuous, discontinuous
ELM layer	continuous, discontinuous
Ellipsoid layer	continuous, discontinuous

2.3 Fusion of OCT and diagnostic data

The following medical report belongs to the scan in Figure 1:

> "R/L persistierende RPE-Abhebungen zentral, kein Anhalt für sub- oder intraretinale Flüssigkeit, zentrale Netzhautdicke R 330 μm L 354 μm"

Translated this statement means:

> "Right/Left persistent central RPE-detachment, no evidence of sub- or intraretinal fluid, central retina thickness right 330 μm left 354 μm"

After processing using text mining, different categories were determined:
RPE-detachment: true
Subretinal fluid: false
Intraretinal fluid: false
Central retina thickness: 354

The correlation between OCT scan and medical report was found because of the patient ID and the examination date. In the E2E file the date is given as the Unix timestamp 1377509482668, which is the date 26th of August 2013. This date could be compared with all dates of examination reports for the corresponding patient ID to find the match.

We can also state that the date of about 70 % of the extracted OCT reports matches exactly with the date of a visual acuity measurement. This was determined by analysing the data of the 10 patients with the most OCT reports and their corresponding extracted visual acuity data. These are only the exact matches, but there are several more entries with a date that is one day before or after the report.

2.4 Statistics of the OHKC data set

More than 31 300 patient data from the OHKC build the base of our data set. A histogram of all patients' date of birth is shown in the left of Figure 2 together with the total number of patients sorted by gender that have been treated since 2002. Obviously, the data reveal gender equity and of course an increasing fraction of patients towards the old age.

The cumulative number of patients as function of VA measurement period is illustrated in the right of Figure 2, where about half of the patients appear only with 1 VA measurement. Patients with visual acuity courses longer than 1 year are marked by dotted lines. For patients with visual acuity (VA) courses longer than 1 year and at least 5 measurements, the VA courses for 9 patients from 3 groups are exemplarily illustrated in Figure 3 (winner, stabiliser, loser: from top to bottom), where each data set is approximated by a linear equation to get a coarse indication whether the VA improves, remains constant or decreases. The mean squared error (MSE) of each linear regression provides information about the accuracy of the underlying model. In case of large MSE values equations different from being linear might be more plausible. As the VA is rather expected to have an upper and lower boundary, sigmoidal-type of functions might describe some VA courses better, e.g. the ones in the top right and bottom right of Figure 3.

The slopes derived from linear regression in Figure 3 was converted into the more intuitive unit of VA change per year. Its cumulative frequency is illustrated in Figure 4 for all patients with VA courses longer than 1 year and at least 5 measurements. The diagram reveals that a fraction of 30–40 % of these roughly 2 000 patients exhibits a loss of visual acuity. Note,

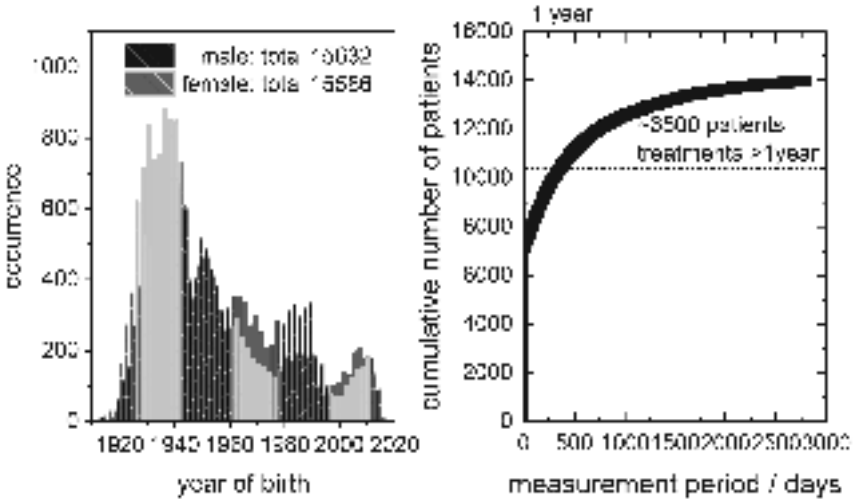


Fig. 2: Statistical data of the OHKC data set: (left) Distribution of year of birth from all patients treated or examined during the years 2002 to 2017 and (right) Cumulative distribution of patients with increasing examination time, here defined by the period between initial and last measurement of visual acuity.

that to this end, we have no systematic data on medication or whether there is a therapy in progress or not.

3 Evaluation of AMD-relevant bdt-export fields

The evaluation of the patient data extraction shows a big difference based on the data type. The fields birth date and sex are very well machine-readable, because they are short values that do not vary in form. This is proven by the evaluation showing that 100 % of the first 20 patients (sorted by IDs) got the data attached correctly. The visual acuity is nearly as well machine-readable as the personal data. It is listed in tables that easily can be read out. Unfortunately many empty tables are existent because the visual acuity values are not continuously documented. Hence we could only extract visual acuity data of about 15 000 patients.

The evaluation of the extraction of OCT reports reveals more difficulties. For the evaluation, the 10 biggest extracted files (10 to 16 reports each, one file per patient) were compared to the original data. We were able to extract nearly 80 % of all reports. The rest is difficult to extract because there is no separate field for the reports. It is a common field that can be labelled as OCT report via a heading. But that heading differs and some OCT reports are not even marked as such. In total we are able to extract OCT reports of about 5 000 patients.

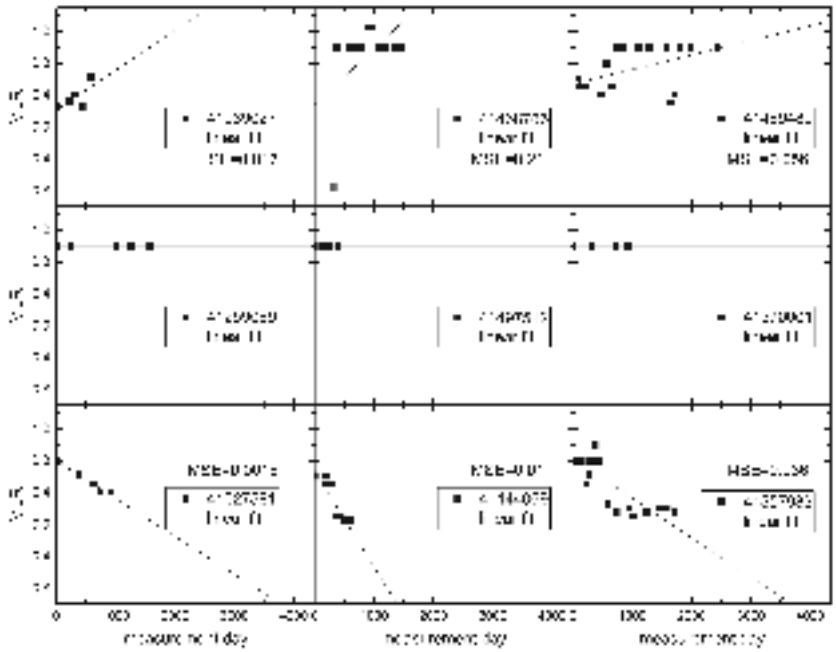


Fig. 3: Examples of 9 patients' individual progression of VA with 3 categories: deterioration, stabilisation and improvement (bottom to top).

It is likely that all other patients got a different diagnosis than AMD. We also can not say definitely that all of those 5 000 patients got AMD. To classify the report data we used text retrieval to cope with the complexity of the text. For the evaluation of the classification, data of 3 patients with 77 reports in total (38 reports containing data for right and left eye + one report containing data for only one eye) were analysed and corrected to generate a ground truth. For the analysis the occurrence of all categories in the extracted file was compared with the occurrence in the result files to determine the number of false negatives. Also the correctness of the classification was tested to determine the false positives. The complete process took about four hours of work for one person. The results are shown in table 2.

It can be seen that the most frequent categories are central retina thickness, sub- or intraretinal fluid, foveal depression and RPE-detachment. Those categories show a high reliability in classification. That means that the used method can be applied to the total data set to generate a bigger ground truth for these categories (with about 90 % reliability instead of 100 %). The problematic categories about the continuity of the layers should not be used as ground truth before the used methods are improved. Those categories are less frequent

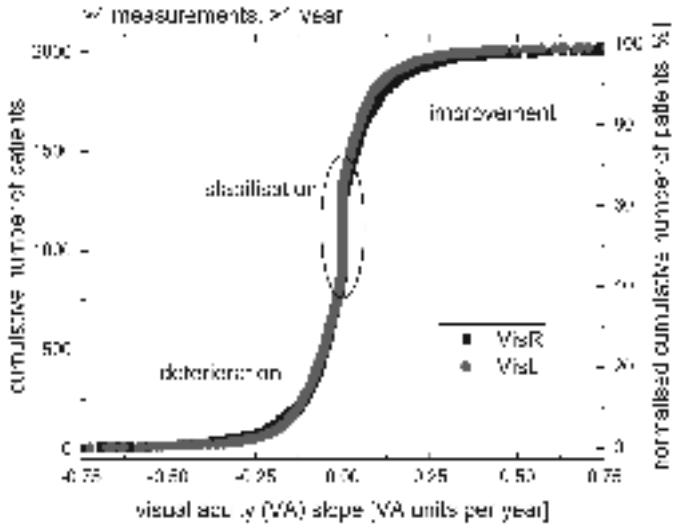


Fig. 4: Cumulative distribution VA slopes of patients with at 5 VA measurements spread over at least one year.

Tab. 2: Evaluation results of the classification of OCT reports

Category	Ground truth	False positive	False negative
Intraretinal fluid	57	2 (3.5 %)	7 (12.3 %)
Subretinal fluid	48	1 (2.1 %)	0
Subretinal fibrosis	5	0	0
RPE-detachment	23	0	1 (4.3 %)
Foveal depression	47	0	3 (6.4 %)
Central retina thickness	59	4 (6.8 %)	0
Cicatrice	9	0	0
RPE layer	3	0	3 (100.0 %)
ELM layer	3	0	2 (66.7 %)
Ellipsoid layer	5	0	4 (80.0 %)

because they are new to the documentation. Likewise, there are varying expressions used that makes a text retrieval difficult.

4 Conclusion and Outlook

We presented a workflow of retrieving and processing medical raw data to make them machine-readable for research purposes. As our approach relies on common data formats like *.e2e from the wide-spread Heidelberg OCT device and *.bdt, a standardised and documented exchange format for patient data including diagnostic information, we assume our strategy to be scalable and applicable to other ophthalmic hospitals. From more than 30 000 formally available patient data, typically only subsets are usable for research due to different documentation status, e.g. of visual acuity or due to individual textual descriptions of medically equivalent diagnoses of pathologies. Within the OHKC data set more than 2 000 VAMDTS (visual acuity courses) longer than one year and 5 measurements revealed that about 60–70 % of the patients from this data set may be classified as stabiliser or winners during the course of therapy. However, about 30 % of patients with decreasing visual acuity over time were identified as subject for deeper inspection in the future, looking for the answer why their response is low.

From the diagnostic bdt-fields, a unique database scheme was derived and a test set of 77 OCT reports manually adapted to define the ground truth for the evaluation of our Python-based medical text retrieval method. Reasonably good results were obtained for AMD-relevant classifications like sub- or intraretinal fluid and central retina thickness, while other categories like the layer descriptions are subject to misinterpretations and require manually-assisted or more advanced text retrieval techniques, like recently demonstrated by the winners of task 1 of the CLEF eHealth Evaluation 2016 where written free-text records had to be structured automatically into a given scheme by identifying relevant text-snippets [Eb16]. The selected 2 000 patients VAMDTS inherently comprise more than 10 000 OCT volume-scans giving a reasonable number of training data for neural networks, that could assist automatic classification of pathologies giving recommendations or spatially marked regions important for early identification of the low-responder group.

Acknowledgement

We thank Dr. Olga Furashova and the whole team of the OHKC for their kind support. This work was partially accomplished within the project *localizeIT* (funding code 03IPT608X) funded by the *Federal Ministry of Education and Research* (BMBF, Germany) in the program of *Entrepreneurial Regions InnoProfile-Transfer*. The European Union and the European Social Fund for Germany partially funded this research.

References

[Eb16] Ebersbach, Mike; Herms, Robert; Lohr, Christina; Eibl, Maximilian: Wrappers for Feature Subset Selection in CRF-based Clinical Information Extraction. In: CLEF (Working Notes). pp. 69–80, 2016.

[Ge11] Gerding, Heinrich; Loukopoulos, Vlassios; Riese, Juliane; Hefner, Lars; Timmermann, Melanie: Results of flexible ranibizumab treatment in age-related macular degeneration and search for parameters with impact on outcome. Graefe's Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology, 249(5):653–662, May 2011.

[Gu16] Gulshan, Varun; Peng, Lily; Coram, Marc; Stumpe, Martin C; Wu, Derek; Narayanaswamy, Arunachalam; Venugopalan, Subhashini; Widner, Kasumi; Madams, Tom; Cuadros, Jorge et al.: Development and validation of a deep learning algorithm for detection of diabetic retinopathy in retinal fundus photographs. Jama, 316(22):2402–2410, 2016.

[HKN14] Hirneiß, C.; Kampik, A.; Neubauer, A.S.: Volkswirtschaftliche Kosten von Augenerkrankungen. Der Ophthalmologe, 111(5):420–427, May 2014.

[Hu13] Huang, Yijun; Danis, Ronald P.; Pak, Jeong W.; Luo, Shiyu; White, James; Zhang, Xian; Narkar, Ashwini; Domalpally, Amitha: Development of a Semi-Automatic Segmentation Method for Retinal OCT Images Tested in Patients with Diabetic Macular Edema. PLoS ONE, 8(12):e82922, December 2013.

[IT16] IT in der Arztpraxis: Datensatzbeschreibung KVDT, 2016.

[Ko17] Kowerko, Danny; Rößner, Miriam; Kahl, Stefan; Herms, Robert; Eibl, Maximilian; Engelmann, Katrin: Aufbereitung augenmedizinischer Bild-, Patienten- und Diagnosedaten zum Zwecke der Forschung - Ethikrichtlinen und deren praktische Umsetzung. In: Mensch und Comuputer Workshop: Ethische Herausforderungen in sozioinformatorischen Forschungsprojekten. Regensburg, p. submitted, September 2017.

[KRR14] Kahl, Stefan; Ritter, Marc; Rosenthal, Paul: Automatisierte Beurteilung der Schädigungssituation bei Patienten mit altersbedingter Makuladegeneration (AMD). In (Publishing, KIT Scientific, ed.): Proceedings of Forum Bildverarbeitung. Karlsruhe, pp. 179–190, November 2014.

[Ro16] Rosenthal, Paul; Ritter, Marc; Kowerko, Danny; Heine, Christian: OphthalVis - Making Data Analytics of Optical Coherence Tomography Reproducible. In (Lawonn, Kai; Hlawitschka, Mario; Rosenthal, Paul, eds): EuroVis Workshop on Reproducibility, Verification, and Validation in Visualization (EuroRV3). The Eurographics Association, Groningen, October 2016.

[Wo15] Wolfram, C: Demografie und Altersabhängigkeit bei Augenerkrankungen. Der Ophthalmologe, 1(112):73–81, 2015.

OSvCS FT – Digitalen Veränderungen auf der Spur: Open vs. Closed Source Forensic Tools

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 2243

Workshop „Digitalen Veränderungen auf der Spur: Open vs. Closed Source Forensic Tools“

Roman Povalej[1]

Der Erfolg mobiler Geräte ist unaufhaltsam. Mehr als 44 Mio. Menschen in Deutschland besitzen ein Smartphone, mit dem sie im Internet surfen, Bilder und Filme ansehen, Nachrichten lesen sowie versenden und noch vieles mehr. Die Vernetzung schreitet weiter voran. Ob bei der Arbeit, beim Einkaufen, in der Straßenbahn oder beim Abendessen, der Mensch ist immer mehr online. Wegen des großen Erfolgs mobiler Gerätschaften werden große Geldmengen investiert und transferiert sowie Daten analysiert und gesammelt. Allerdings weckt dies auch illegale Begehrlichkeiten und die Nutzer werden Opfer von Hacks bzw. Malware. Daten werden ausgespäht, Rechner werden missbraucht, Identitäten werden geraubt. Der wirtschaftliche Schaden ist enorm.

Derartige Risiken waren, sind und werden immer eine Herausforderung im Internet, in Netzwerken und auf Rechnersystemen sein. Selbst bei einem komplett autarken und abgeschotteten System, ohne jegliche Kommunikation nach außen, bleibt immer noch der Mensch als potenzielle Gefahrenquelle. Durch die immer größere Vernetzung werden auch weitere Angriffsflächen geschaffen. Trends wie Internet-der-Dinge oder Industrie 4.0 oder Integrierte Ökosysteme erhöhen die Vernetzung, bieten aber gleichzeitig weitere Angriffspunkte.

Jeder Hack bzw. jede Malware hinterlässt digitale Spuren im Netzwerk und auf dem kompromittierten System. Mittels forensischen Werkzeugen sollen diese digitalen Spuren aufgedeckt und analysiert werden sowie die richtigen Schlussfolgerungen über den Verursacher gezogen und Maßnahmen eingeleitet werden. Zum Einsatz kommen sowohl Open Source als auch Closed Source Lösungen. Jede Lösung für sich betrachtet hat Stärken und Vorteile, unter Umständen aber auch Grenzen, die insgesamt näher zu betrachten sind, um zu entscheiden, wann welche Lösung zum Einsatz kommen sollte.

Und zu guter Letzt, aber nicht nur, sollte den folgenden Fragen nachgegangen werden: Gibt es primäre Einsatzgebiete von einzelnen Lösungen? Wo liegen deren Grenzen? In welche Richtungen müssen sich die forensischen Lösungen entwickeln? Inwieweit werden neue Herausforderungen bereits heute schon abgedeckt?

Roman Povalej

[1] Polizeiakademie Niedersachsen., Studiengebiet 1, Gimter Str. 10, 34346 Hann. Münden,
roman.povalej@polizei.niedersachsen.de

doi:10.18420/in2017_223

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 2245

Using Open Source Based Distributed Agents to Perform Digital Investigation in Virtual Environments

Daniel Spiekermann[1], Jörg Keller[2], Tobias Eggendorfer[3]

Abstract: To solve the challenges of digital investigation in virtual environments, we propose the use of distributed agents to ensure valid and continuous network traffic observations in these environments. As one of the most relevant new evolution in information technology, cloud computing demands a flexible and highly dynamic infrastructure, provided by the virtualization of systems, networks and storage. However investigating computer related crime in these environments a necessity. Current techniques like computer or network forensic investigation are not suitable for these environments. The migration of virtual machines changes the environment permanently, thus every running investigation is aggravated. Our approach of open source based, distributed agents is able to implement viable investigations in these virtual environment.

Keywords: network forensic, virtual environment, cloud computing, digital investigation, cyber crime

1 Introduction

The relevance of virtual environments increases with the evolution of cloud computing. Hence a modern datacenter uses dynamic, flexible and highly automated infrastructures to provide the services. Static implementations are not flexible enough, therefore virtual machines (VM) replacing physical servers and virtual networks overlaying the physical network.

The necessity of digital investigation is still existing, even in virtual environments. Current methods of digital investigation in traditional environments are proved and well-known. The analysis of personal computers, servers or network data is done with tools and frameworks, which support the investigator and automate necessary steps. But mostly all tools and techniques of nowadays digital investigations are mainly limited to static systems and fail in virtual environments with their frequent changes. These environments raise different issues which impede the digital investigation of a system of interest (SOI) in law enforcement [SEK15].

[1] FernUniversität in Hagen, daniel.spiekermann@fernuni-hagen.de
[2] FernUniversität in Hagen, joerg.keller@fernuni-hagen.de
[3] HS Weingarten, tobias.eggendorfer@hs-weingarten.de

doi:10.18420/in2017_224

In this paper we present an approach of using open source based, distributed agents to implement digital investigation in these environments. The agents communicate with a central server and collect predefined data inside the environment autonomously. If an agent finds relevant data, the server is noticed and depending on the policy various actions are available. A first implementation of such an autonomous system named ForCon was presented at [SKE17]. ForCon ensures valid and ongoing network forensic investigation in OpenFlow networks in combination with Open vSwitch instances. The expansion of ForCon to gather different data improves computer forensic investigation in virtual networks. The distributed agents monitor the environment and in case of a starting migration of the SOI, the server is informed and as a consequence subsequent steps are initiated. Thus a combination of network and computer forensic investigations supported by distributed agents increases the success of a given examination.

The rest of this paper is structured as follows. In Section 2 we list related work regarding the fields of digital investigation in law enforcement and forensics examination in virtual environments. Background information regarding virtual environments is summarized in Section 3, the field of digital investigation is described in Section 4. The use of distributed agents to improve digital investigation in cloud environments is discussed in Section 5. Section 6 concludes this paper and gives an outlook on our future research.

2 Related Work

Different research has been done in the area of digital investigation and virtual environments. Most of the work is limited to aspects like the analysis of attacks or network security. The special demands of law enforcement are discussed in [AFCF13], [Na01] and [Na04].

Research with a focus on digital investigations in virtual environments are presented in [Eu16] with a focus on lawful interception and retained data or in [DS13] with a first implementation named FROST to perform digital investigation in OpenStack clouds. [FF14] describe the detection of anomalies and identification of the source in software defined networks (SDN). [Ag14] implements tracing in SDN to fulfill digital investigation.

The use of open source in digital investigation is discussed in [Ca03] and in [Ga10] with a view of the possibilities and limitations of open source tools and the possible benefit of closed source tools.

3 Virtual Environment

The architecture of a modern datacenter differs from traditional environments. In the past, single servers were installed to host only a few specific services like webservers, databases or applications. Today virtual machines connected to a virtual networks are deployed to the customer. Hundreds or thousand of VMs are hosted on very powerful servers called

compute nodes simultaneously. The management is performed by a virtual machine monitor [SN05].

The use of VMs improves the overall resource usage, increases the flexibility and simplifies the administration, but the maintenance of these VMs is still cumbersome. Aspects like security, isolation and interconnection raise additional tasks to the provider. Common tools and protocols like MPLS or VLAN are able to separate the different VMs, but they are limited in the number of possible networks and fail to provide all requirements of virtual environments. Hence the next step led to the use of virtual networks, which use new network protocols like VXLAN [Ma14], GENEVE [Gr17] and NVGRE [GW15] or new paradigms like SDN or network function virtualization (NFV) [Eu14].

The new protocols use encapsulation to transfer the given network packets and eradicate the limitations of MPLS and VLAN by increasing the number of usable logical networks. The use of SDN provides a higher flexibility by using a central controller and the programmability of the network. NFV converts common hardware devices in software functions, which simplifies the deployment of needed network functions.

4 Digital investigation

Law enforcement agencies perform digital forensic investigation to examine crimes in information technology, often described as cyber crime, by recovering and analyzing information found in digital devices. A common investigation uses three well-defined steps:

- **Saving**
  The relevant data is copied and stored for the subsequent tasks.
- **Analyzing**
  The stored data is analyzed to extract relevant information, and find important data.
- **Presenting**
  The results are processed to a report which lists the performed tasks and provides a comprehensible documentation.

Depending on the target system and the environment, different specialized branches of digital investigation are used. This leads to various possible implementations like computer, network or mobile phone forensics and application-specific areas like database or multimedia forensics.

5 Distributed agents

As described in Section 4, different areas of digital investigation exist, each of them with adapted methods, frameworks and tools. To perform digital investigation in a datacenter,

the most relevant fields are computer and network forensic investigation. Especially the network forensic investigation is used by law enforcement agencies to capture the network traffic of a SOI. In combination with computer forensics, the analysis of the collected data is simplified because of the additional information.

But these current methods fail in modern virtual environments. Problems like data access, VM migration, flexibility, legal issues and multitenancy impede all phases of digital investigation [SE16]. One of the most critical issues is the possibility to migrate a VM from one physical host to another. The movement of this SOI raises different challenges to the investigator, which might affect computer as well as network forensics. Capture processes in network forensic investigations are interrupted if the SOI moves to another compute node and subsequently uses another network interface to transmit the network data. Carving techniques to retrieve deleted data will find different file fragments, but the assignment to the SOI gets more complicated in dynamic environments with lots of movements.

ForCon is an implementation for digital investigation in OpenFlow networks, which uses distributed agents to identify a SOI and to prepare the capture process. On the one hand, the so-called *sdn-agents* extract various data out of the connected devices and monitor the involved compute nodes and gather relevant information of changes in the network. If these changes are crucial for the running capture process, ForCon is able to reconfigure the capture process to ensure the ongoing packet capture. On the other hand, special agents named *mirror-agents* establish tunnel connections between the involved sdn-agent and itself to transfer the copied network traffic. The agents communicate with the ForCon and interact autonomously inside the virtual environment.

We propose the use of distributed agents to also improve the analysis of involved compute nodes. These hosting systems might be involved only for a short period of time, but in this interval relevant information might be created and stored on the virtual hard disk. If the VM is moved to another server, these information get lost because this system releases the storage space after the migration is finished. If the storage space is not allocated anymore, the hypervisor assigns it to other VMs. So all information of the SOI stored in this area are lost after the migration. This might occur again and again, and the movement leads to perpetually changing compute nodes and different storage locations. Without knowing the actual storage area the investigator only has the notice of the last compute node, which limits the ability to acquire relevant storage. The information of prior storage pools is stored in different files and devices like the hosting system, a logging device or the cloud controller. The extraction is faced with various issues like different file format, diverging designation of systems and the overflowing number of log entries in a highly dynamic infrastructure, which requires a cumbersome analysis, which can hardly be automated.

The use of ForCon and the implemented monitoring in combination with a subsequent extraction of these information eradicates these problems and improves computer forensic investigations. If an agent informs ForCon about changes inside the network, various information are exchanged. ForCon extracts the relevant information and informs the

involved agents with predefined messages. By announcing a special message (*announcement*-message) containing information about the compute node, the investigator is notified and might start additional processes like imaging and carving of the virtual filesystem or live forensic investigation. A timely notification facilitates the extraction of volatile memory, whereby the subsequent analysis might retrieve important information like encryption keys, open network connections and recently used commands [Li14]. Without this monitoring convenient live forensic investigations are hardly feasible.

6 Conclusion

The evolution of modern DC from static implementations to flexible and dynamic virtual environments is still ongoing. Traditional methods of digital investigation in these infrastructures will fail because of the dynamic and flexibility. We presented a new approach of distributed agents acquiring the data of involved compute nodes running a SOI. By expanding the agent-based framework ForCon, which implements network forensic investigation in OpenFlow networks, additional information gathered by the agents eradicate issues of computer forensic investigation.

The agent running on the involved compute node monitors the system and manipulates flows to capture the network traffic of the SOI. By expanding this functionality, the involved agent running on a specific compute node might start imaging or carving processes.

The combination of network and computer forensics improves the entire digital investigation process in law enforcement, requiring forensic valid and sound evidence. Whereas ForCon as a network forensic framework is successfully implemented and tested in different situations, the use of distributed agents to extract additional information still needs to be evaluated and tested in detail, which is a topic for future research. ForCon is using an open source approach which facilitates the development of adapted agents for different vendors and implementations like VMWare, KVM and Hyper-V.

References

[AFCF13] Al Fahdi, M.; Clarke, N.L.; Furnell, S.M.: Challenges to digital forensics: A survey of researchers practitioners attitudes and opinions. In: 2013 Information Security for South Africa. pp. 1–8, Aug 2013.

[Ag14] Agarwal, Kanak; Rozner, Eric; Dixon, Colin; Carter, John: SDN traceroute: tracing SDN forwarding without changing network behavior. In: Proceedings of the Third Workshop on Hot Topics in Software Defined Networking. HotSDN 14. ACM, pp. 145–150, 2014.

[Ca03] Carrier, Brian: Open Source Digital Forensic Tools: The Legal Argument. Technical report, @stake Research Report, September 2003.

[DS13] Dykstra, Josiah; Sherman, Alan T.: Design and implementation of FROST: Digital forensic tools for the OpenStack cloud computing platform. Digital Investigation, 10:87–95, 2013.

[Eu14] European Telecommunications Standards Institute: Network Functions Virtualisation (NFV) - White Paper 3. Technical report, European Telecommunications Standards Institute, 2014. last access: 10.04.2017.

[Eu16] European Telecommunications Standards Institute: Lawful Interception (LI); Cloud/Virtual Services for Lawful Interception (LI) and Retained Data (RD). Technical Report ETSI TR 101 567, European Telecommunications Standards Institute, January 2016.

[FF14] Francois, Jerome; Festor, Olivier: Anomaly traceback using software defined networking. In: 2014 IEEE International Workshop on Information Forensics and Security (WIFS). IEEE, pp. 203–208, 2014.

[Ga10] Garfinkel, Simson L: Digital forensics research: The next 10 years. Digital Investigation, 7:64–73, 2010.

[Gr17] Gross, J.; Sridhar, T.; Garg, P.; Wright, C.; Ganga, I.: Geneve: Generic network virtualization encapsulation. Proposed standard, IETF, 2017.

[GW15] Garg, P.; Wang, Y.: NVGRE: Network Virtualization Using Generic Routing Encapsulation. RFC 7637, IETF, September 2015.

[Li14] Ligh, Michael Hale; Case, Andrew; Levy, Jamie; Walters, Aaron: The Art of Memory Forensics: Detecting Malware and Threats in Windows, Linux, and Mac Memory. Wiley Publishing, 1st edition, 2014.

[Ma14] Mahalingam, M.; Dutt, D.; Duda, K.; Agarwal, P.; Kreeger, L.; Sridhar, T.; Bursell, M.; Wright, C.: Virtual eXtensible Local Area Network (VXLAN): A Framework for Overlaying Virtualized Layer 2 Networks over Layer 3 Networks. RFC 7348, IETF, August 2014.

[Na01] National Crime Justice: A Guide for First Responders. Electronic Crime Scene Investigation, 187736, 2001.

[Na04] National Institute of Justice: Forensic examination of digital evidence: a guide for law enforcement. NIJ special report. U.S. Deptartment of Justice, 2004.

[SE16] Spiekermann, Daniel; Eggendorfer, Tobias: Challenges of Network Forensic Investigation in Virtual Networks. Journal of Cyber Security and Mobility, 5(2), 2016.

[SEK15] Spiekermann, Daniel; Eggendorfer, Tobias; Keller, Jörg: Using network data to improve digital investigation in cloud computing environments. In: International Conference on High Performance Computing & Simulation (HPCS),. IEEE, pp. 98–105, 2015.

[SKE17] Spiekermann, Daniel; Keller, Jörg; Eggendorfer, Tobias: Network forensic investigation in OpenFlow networks with ForCon. Digital Investigation, 20:66–74, 2017.

[SN05] Smith, James E.; Nair, Ravi: Virtual machines: Versatile platforms for systems and processes. Morgan Kaufmann Publishers, Amsterdam and Boston, 2005.

Migration und Medien

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 2253

WS38 Migration und Medien

Roksolana Pleshkanovska[1]

1 Informative und integrative Wirkung digitaler Medien auf Migration

Die Digitalisierung der Gesellschaft schreitet unaufhaltsam voran. Mittlerweile haben immer mehr Entwicklungs- und Schwellenländer einen vereinfachten Zugang zur digitalen Kommunikation. Damit sind Chancen, aber auch Herausforderungen für eine Gesellschaft verbunden. Das Ziel des Workshops ist es, die Digitalisierung und den Einsatz von Informationssystemen als Herausforderung, Treiber und Erfolgsfaktor für die Migration zu untersuchen. Der Workshop deckt folgende Schwerpunkte (aber nicht ausschließlich) ab:

- Zusammenhang zwischen Globalisierung, Digitalisierung und Migration, Migrationsformen, -ursachen und -zahlen, Einfluss digitaler Revolution auf Globalisierung und Migration, Globalisierung und sozioökonomische Ungleichheit
- Aktuelle Migrationsbewegung und ihre Relevanz ggf. unter Berücksichtigung historischer und politischer Aspekte, Relevanz digitaler Medien in der Flüchtlingskrise im Hinblick auf Digital Media Studies
- Studien zur weltweiten Mediennutzung, Mediennutzung und -bedeutung in den Herkunftsländern der Flüchtlinge, Nutzung digitaler Tools auf der Flucht, Nutzung digitaler Medien durch ehemalige Flüchtlinge und Migranten in den Aufnahmeländern, Digital Refugees Konzept, Rolle und Einfluss sozialer Medien wie Facebook und Twitter beim Arabischen Frühling
- Darstellung der Flüchtlings- und Migrationsbewegung in den Medien, Unterschiede zwischen traditionellen und neuen Medien, soziale Medien zwischen Pressefreiheit und Hassreden
- Digitale Medien – Fluch oder Segen? Nutzung der Möglichkeiten der Digitalisierung und IKT zur Abschwächung der Migrationsursachen vor Ort
- Social Media-basierte nachhaltige Geschäftsmodelle zur Reduzierung des ökonomisch induzierten Migrationsdrucks in den Schwellen- und Entwicklungsländern

Diese und weitere Schwerpunkte werden durch Kurzvorträge intensiv, aber auch themenübergreifend behandelt. Mit den Beiträgen aus dem Workshop soll eine Brücke geschlagen werden zwischen dem Bereich der Migration auf der einen Seite und dem IKT-geprägten Bereich der Informationssysteme, IKT-Lösungen und Software-Werkzeuge auf

[1] Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Institut für Technische und Betriebliche Informationssysteme, Universitätsplatz 1, 39106 Magdeburg, roksolana.pleshkanovska@ovgu.de

doi:10.18420/in2017_225

der anderen Seite. Obwohl die Forschungsstränge in beiden Bereichen bislang noch weitgehend getrennt verlaufen, so eröffnen die Fortschritte in den IKT eine Fülle einzigartiger Möglichkeiten, die man für die Migration ausschöpfen kann. Die Beiträge sollen die Bedeutung von IKT und Software-Werkzeugen sowie Forschungs- und Praxisimplikationen für die Migration herausstellen. Die Teilnehmer werden dabei durch offene Diskussionsrunden, Poster-Herstellung, etc. aktiv eingebunden. Zum Abschluss wird ein gemeinsames Verständnis erarbeitet, inwieweit vorgestellte Inhalte miteinander zusammenhängen. Der Workshop richtet sich an ein breites und interdisziplinäres Publikum.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 2255

Social Media-basierte nachhaltige Geschäftsmodelle als Mittel zur Reduzierung des ökonomisch induzierten Migrationsdrucks – Eine Forschungsagenda für den Anwendungsbereich Ethical Fashion

Axel Jacob[1] und Frank Teuteberg[2]

Abstract: Die Ursachen für Migration sind vielseitig. Derzeit steht insbesondere in Europa die durch Kriege und ähnliche Konflikte ausgelöste Migration im Fokus. Global betrachtet ist allerdings eine viel größere Zahl von Menschen von Migration aufgrund von prekären wirtschaftlichen Bedingungen, Arbeitslosigkeit und daraus folgender sozioökonomischer Ungleichheit betroffen. Das Empowerment von Klein- und Kleinstproduzenten könnte eine wirksame Maßnahme sein, um insgesamt eine große Anzahl von Menschen beschäftigen zu können, ohne dass (komplexe) wirtschaftliche Strukturen benötigt werden. Der vorliegende Beitrag beschreibt am Beispiel der Produktion von nachhaltiger Kleidung einen Ansatz, wie durch den Einsatz von (sozialen) Informations- und Kommunikationstechnologien Klein- und Kleinstunternehmen in marginalen Regionen an den globalen Handel angebunden werden könnten und somit Zugang zu den wohlhabenden Märkten der Industriestaaten bekämen. Im Rahmen einer konzipierten Forschungsagenda werden Forschungsfragen entwickelt, die Ansatzpunkte für die Weiterentwicklung verschiedener Theorien und Konzepte im Hinblick auf ihre Anwendbarkeit im hier beschriebenen Kontext darstellen.

Keywords: Social Media, Migrationsursachen, ethischer Konsum, Klein- und Kleinstproduzenten, Diffusionstheorie, Technologieakzeptanz, TOE Framework

1 Einleitung

Die internationale Migration ist ein globales Phänomen von höchster Relevanz in der heutigen globalisierten Welt [Un16]. Sie betrifft sowohl die Herkunfts- als auch die Zielländer in positiver wie auch in negativer Art und Weise. Die sogenannte Flüchtlingskrise in Europa [Pe16] ist dabei ein hervorstechendes Beispiel für die Herausforderungen, die im Rahmen der Migration für die Zielländer entstehen.

Eine prekäre wirtschaftliche Situation in den Herkunftsländern ist eine der Hauptursachen der Migration, die sich insbesondere auf die gesellschaftlich relevante Mittelschicht der Herkunftsländer auswirkt [RPÖ16]. Maßnahmen wie Entwicklungshilfe oder Capacity Building sind die vorrangigen politischen Instrumente, um die Migrationsursachen zu bekämpfen und die Ökonomien der Herkunftsländer zu vitalisieren. Der global anhaltende

[1] Hochschule Osnabrück, Fakultät Wirtschafts- und Sozialwissenschaften, Caprivistr. 30a, 49076 Osnabrück, a.jacob@hs-osnabrueck.de
[2] Universität Osnabrück, Unternehmensrechnung und Wirtschaftsinformatik, Katharinenstr. 1, 49074 Osnabrück, frank.teuteberg@uni-osnabrueck.de

doi:10.18420/in2017_226

Anstieg der Migration zeigt jedoch, dass diese Instrumente in ihrer derzeitigen Ausprägung nicht effektiv genug sind. Ein wichtiger Grund für den schwachen wirtschaftlichen Fortschritt in Entwicklungsländern kann in der (teilweise beabsichtigten) Ausgrenzung ihrer Waren von den Märkten der Industrieländer gesehen werden [Bo11].

Im Bereich der Modeindustrie gibt es in den meisten Industrieländern beispielsweise eine derzeit zwar noch geringe, aber stetig wachsende Nachfrage nach ethnisch geprägten und nachhaltig, insbesondere nach ethischen Kriterien produzierten Waren von Klein- und Kleinstproduzenten in Entwicklungsländern [Cr16]. Trotz der bestehenden Nachfrage erwirtschaften die Klein- und Kleinstproduzenten keine ausreichenden Umsätze bzw. Deckungsbeiträge in den Märkten der Industrieländer. Die Ursachen dafür können in der Struktur ihrer Wertschöpfungsketten gesehen werden, die entweder von Non-Profit-Organisationen oder Handelsintermediären mit hoher Verhandlungsmacht dominiert werden [Ab13], [An15].

Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage, wie für Klein- und Kleinstproduzenten nachhaltige Geschäftsmodelle und Wertschöpfungsketten aufgebaut werden können, die es ihnen ermöglichen, in den wohlhabenden Märkten der Industrieländer ausreichende Umsätze, bzw. Deckungsbeiträge zu generieren? E-Business-Lösungen in Kombination mit Social Media könnten einen wesentlichen Beitrag zur Beantwortung dieser Frage leisten. So ermöglicht die immer weiter voranschreitende Digitalisierung von Geschäftsprozessen z.B. den Einsatz moderner Marketing- bzw. Logistikkonzepte wie dem Gamification [LJ14] oder Crowd Logistics [MFT15], die die Interaktion mit den Konsumenten vereinfachen und einen Startpunkt für schlanke und nachhaltige Wertschöpfungsketten von Klein- und Kleinstproduzenten darstellen können.

Das Ziel dieses Beitrages ist es, vor dem Hintergrund der aktuellen Migrationsdebatte einen Ansatz zur Weiterentwicklung des ethischen Konsums und somit zur Abschwächung von Migrationsursachen durch den Einsatz von (sozialen) Informations- und Kommunikationstechnologien aufzuzeigen. Im folgenden Kapitel wird das Konzept der Produktion ethischer Mode als Anwendungsbeispiel beschrieben. Im Anschluss werden mit Bezug auf verschiedene Theorien und Konzepte der Wirtschaftsinformatik anwendungsorientierte Forschungsfragen aufgestellt. Ausgehend von den Forschungsfragen wird dann eine Agenda erarbeitet, die zur Beantwortung der Forschungsfragen dienen soll. Die Arbeit schließt mit einer Zusammenfassung und einem Ausblick.

2 Ethical Fashion: State of the Art

2.1 Konzept, Akteure und Geschäftsmodell

Das Konzept Ethical Fashion entstand in den späten 90er Jahren. Unter dem Gesichtspunkt der Kostenreduzierung hatte die Textilindustrie in den vorherigen Jahren ihre Produktion weitestgehend in Schwellen- und Entwicklungsländer mit äußerst geringen Arbeitskosten

verlagert. Der anhaltende Kostenwettbewerb führte zu prekären Arbeitsbedingungen in den Fabriken der Lieferanten [Br97]. Durch anhaltende Berichterstattungen über diese sogenannten Sweatshops fand eine Sensibilisierung der Konsumenten statt [Ha99], [Bu00]. Als Reaktion darauf verpflichteten sich einzelne Modeunternehmen, gerechte Löhne zu zahlen, exzessive Arbeitszeiten zu reduzieren und weitere arbeitsrechtliche Regelungen einzuhalten [Di99].

Die elementarsten Akteure im Bereich Ethical Fashion sind die Produzenten. Diese sind i.d.R. rechtlich selbständige Klein- und Kleinstproduzenten in Entwicklungs- oder Schwellenländern. Sie arbeiten für einzelne Designer, kleinere Modemarken und/oder vermarkten ihre Produkte selbst. Im letzten Fall stellen sie nicht nur ethnisch geprägte Modeartikel nach ethischen Kriterien her, sondern entwerfen sie auch, weswegen sie oft als Künstler bzw. Communities bezeichnet werden. Der Empfehlung der EU folgend, beschäftigen Kleinstunternehmen weniger als zehn Mitarbeiter und weisen Umsatzerlöse oder eine Bilanzsumme von weniger als 2 Mio. Euro aus; Kleinunternehmen beschäftigen zehn bis 49 Mitarbeiter und weisen Umsatzerlöse oder eine Bilanzsumme von mindestens 2 Mio. Euro, aber weniger als 10 Mio. Euro aus [Eu03]. Diese Definitionsempfehlung trifft im Bereich Ethical Fashion nur bedingt zu, da es sich teilweise auch um informelle Unternehmen handelt und Umsatzerlöse bzw. eine Bilanzsumme von mehr als 2 Millionen nur selten erzielt werden. Ein weiteres prägendes Merkmal dieser Akteure ist ein geringer Strukturierungsgrad. So ist die Produktion oftmals sehr arbeitsintensiv, kaum automatisiert und auf eine Betriebsstätte reduziert. Ihre Marketingkompetenz beschränkt sich i.d.R. auf den heimischen Zielmarkt, wobei eine geringe Marktabdeckung und Marktmacht charakteristisch ist [Sc11]. Kenntnisse über ausländische Zielmärkte sind i.d.R. sehr gering [Di14]. Die Logistik ist auf die Funktion des Warentransportes beschränkt. Es besteht meist keine institutionalisierte Logistik. Das IT-Knowhow kann i.d.R. als gering eingeordnet werden. Informationssysteme kommen i.d.R. nicht zum Einsatz. Aus diesem Grund werden auch Möglichkeiten der Digitalisierung nicht genutzt.

Aufgrund der beschränkten betriebswirtschaftlichen Fähigkeiten sind Klein- und Kleinstunternehmen auf Unterstützung angewiesen, insbesondere wenn sie ihre Waren in andere (wohlhabende) Länder exportieren wollen. Non-Profit-Organisationen wie die Ethical Fashion Initiative, das Poor Communities Trade Programme, das Centre for the Promotion of Imports from developing countries oder die World Fair Trade Organization unterstützen Klein- und Kleinstproduzenten, indem sie Management-Knowhow vermitteln und den Vertrieb der Waren in den westlichen Märkten fördern [CA16].

Klein- und Kleinstproduzenten, die nicht von Non-Profit-Organisationen unterstützt werden, arbeiten oft mit Handelsintermediären zusammen. Die Zusammenarbeit mit Handelsintermediären ermöglicht den Klein- und Kleinstproduzenten Zugang zu Ressourcen und Wissen, welches sie selber nicht besitzen. So verfügen Handelsintermediäre über Expertisen in Bezug auf gesetzliche Bestimmung sowie Zollmodalitäten, ermöglichen den Zugriff auf Infrastrukturen bzw. Märkte und sorgen für einen Ausgleich von Angebot und Nachfrage in den jeweiligen Zielmärkten [BGT15].

Die Schnittstelle zum Konsumenten bildet der Einzelhandel. I.d.R. handelt es sich dabei um kleine, inhabergeführte Unternehmen, die entweder mit den Non-Profit-Organisationen, den Intermediären oder direkt mit den Klein- und Kleinstproduzenten zusammenarbeiten. Die konzeptionelle Ausrichtung der Einzelhandelsunternehmen ist dabei sehr groß und reicht von sog. Weltläden bis hin zu High Fashion Shops. Der Vertrieb über Einzelhandelsketten kommt nicht vor, weil die Klein- und Kleinstproduzenten nur verhältnismäßig geringe Mengen produzieren können und eine flächendeckende Versorgung einer Kette somit nicht möglich ist.

Die Konsumenten können als die bedeutendsten Akteure betrachtet werden. Sie lassen sich weniger anhand demografischer als vielmehr anhand psychografischer Kriterien segmentieren. So gehören z.B. die Informiertheit, die individuelle Einstellung zu ethischen Fragen oder der erwartete persönliche Nutzen zu den Variablen, die das Kaufverhalten der Konsumenten beeinflussen [HD09], [BJK11]. Im Segment Eco Fashion konnte bereits nachgewiesen werden, dass der Preis auch bei thematisch interessierten Konsumenten ein wesentlicher Faktor ist, der das Kaufverhalten sehr stark beeinflusst, wenn der Einkaufsprozess nicht als ein Erlebnis wahrgenommen wird [Ji11], [CCW12].

2.2 Limitationen des Geschäftsmodells

Hinter dem Begriff Ethical Fashion verbirgt sich eine große Bandbreite unterschiedlicher nachhaltiger Produktions- und Vermarktungsansätze. Unterschieden werden können die Ansätze zumindest im Hinblick auf ihre inhaltliche Auslegung der Nachhaltigkeit (ökologisch, ökonomisch und/oder sozial), den Anwendungsbereich (Produktion, Unternehmen, Wertkette) sowie das Marktsegment (Massenmarkt, Premium und Luxus). Die Vielfalt an unterschiedlichen Ausprägungen erzeugt bei den Konsumenten – besonders unter Berücksichtigung der heterogenen psychografischen Entscheidungskriterien – eine Konfusion, die ihnen das Treffen, der für sie richtigen Entscheidung, erschwert [Jo06]. Zur besseren Aufklärung der Konsumenten können Zertifizierungen eingesetzt werden. Vorhandene Zertifizierungen können allerdings zu „Cynicism“ [BJK11] bei den Konsumenten führen, da diese aufgrund der Diskrepanz zwischen der Ausrichtung der Zertifizierung und dem eigenen Verständnis von nachhaltiger Mode die Glaubwürdigkeit der zertifizierten Einrichtung anzweifeln und deshalb die Produkte als Form des Protests nicht kaufen. Ethical Fashion ist folglich ein sehr erklärungsbedürftiges Konzept, das auf ein hohes Maß an Kommunikation beruht bzw. beruhen sollte.

Auch das beschriebene Geschäftsmodell der Klein- und Kleinstproduzenten beinhaltet eine Reihe von Nachteilen [HB16]. Sofern sie für einzelne Designer oder kleinere Modemarken arbeiten, unterliegt ihr Auftragseingang sehr starken saisonalen Schwankungen. Während innerhalb einer Saison ein verhältnismäßig hoher Umsatz generiert werden kann, brechen die Umsätze außerhalb der Saison ein, weil die Waren nur noch auf regionalen Märkten vertrieben werden können. Für Klein- und Kleinstproduzenten, die nicht für einzelne Designer oder kleinere Modemarken arbeiten, besteht dieses Problem ganzjährig. Ohne die Unterstützung von Partnern sind die Klein- und Kleinstproduzenten nicht in der

Lage, ihre Konsumenten über geeignete Marketingmaßnahmen anzusprechen, sie zu informieren, ihr Interesse zu wecken, Verkäufe zu generieren und sie zu binden. Ebenso stellt die Logistik einen wesentlichen Hemmfaktor dar, weil die Transportkosten einen verhältnismäßig hohen Anteil der gesamten Produktkosten ausmachen. Die Preissensibilität der Konsumenten erfordert jedoch niedrige Transportkosten, um die Produkte zu marktfähigen Preisen in die angestrebten Zielländer liefern zu können. Dies geschieht durch die Bündelung von Sendungen, die entweder zeitlich oder räumlich erfolgen kann [GF13]. Bei der zeitlichen Sendungsverdichtung werden die Transportgüter eines Verladers solange gebündelt, bis eine für den Transport kritische Menge erreicht wird. Diese Art der Bündelung führt bei einem geringen Absatz allerdings zu langen Wartezeiten für die Konsumenten und ist deshalb kaum mit der Erwartungshaltung der Konsumenten zu vereinen. Bei der räumlichen Bündelung werden Transportgüter unterschiedlicher Verlader zusammengefasst und somit schneller die für den Transport kritische Menge erreicht. Hierbei entsteht allerdings ein deutlich erhöhter Koordinationsaufwand.

Aufgrund dieser Restriktionen sind die Produzenten auf die Zusammenarbeit mit Non-Profit-Organisationen oder Handelsintermediären angewiesen. Die Unterstützung durch Non-Profit-Organisationen verringert zwar die Kosten für die Klein- und Kleinstproduzenten, allerdings werden somit auch ineffiziente Strukturen und Geschäftsmodelle aufgebaut. Konsumenten neigen in dieser Art von Wertschöpfungskette dazu, Waren aus einem Wohltätigkeitsgedanken heraus zu kaufen und nicht aufgrund der Attraktivität des Produkts sowie eines angemessenen Preises. Die Klein- und Kleinstproduzenten werden somit auf lange Sicht abhängig von den Non-Profit-Organisationen und entwickeln somit nicht die Kompetenz, selbständig in den jeweiligen Märkten bestehen zu können. Die Zusammenarbeit mit Handelsintermediären stellt einen marktwirtschaftlichen Ansatz dar, bedingt allerdings ebenfalls Probleme für die Klein- und Kleinstproduzenten, weil die Intermediäre als Gegenleistung für ihre Dienste und aufgrund ihrer starken Verhandlungsmacht den größten Teil der Wertschöpfung für sich beanspruchen [LT11].

2.3 Ethical Fashion als Forschungsgegenstand

In der frühen Phase von Ethical Fashion lag der Schwerpunkt der Forschung auf der Betrachtung des Konsumentenverhaltens und den Annahmen der Konsumenten in Bezug auf die Produktionsverfahren der global agierenden Bekleidungsindustrie [DL96], [Di99]. Deswegen liegt über die Konsumenten und ihr Kaufverhalten eine Vielzahl von Untersuchungen vor. Ausgehend von dieser Marketing-Perspektive wird das Konzept heutzutage auch innerhalb der Wirtschaftsethik [DLA12] sowie des Modemanagements [Jo06], [Be08] diskutiert, wobei der Fokus auch hier meistens auf die Konsumenten gerichtet ist und länderspezifische Untersuchungen durchgeführt werden (vgl. z.B. [KN09], [JSS12]). Die wissenschaftliche Betrachtung der Geschäftsmodelle und der dazugehörigen Wertschöpfungsketten ist dabei ein eher seltenes Phänomen [BCB08], [Ch12]. Untersuchungen der eingesetzten Informations- und Kommunikationssysteme sind äußerst selten [CW12].

3 Entwicklung von Forschungsfragen

Das beschriebene Geschäftsmodell der Klein- und Kleinstproduzenten folgt der Strategie, nachhaltig hergestellte Modeprodukte auf den wohlhabenden Märkten der Industrieländer zu vertreiben. Dabei beruht es auf unterschiedlichen Konzepten und Theorien, die für die Neukonzeptionierung des herkömmlichen Geschäftsmodells einzeln untersucht und in Teilen weiterentwickelt werden müssen. Abb. 1 gibt einen Überblick über die Struktur der einzelnen Bestandteile.

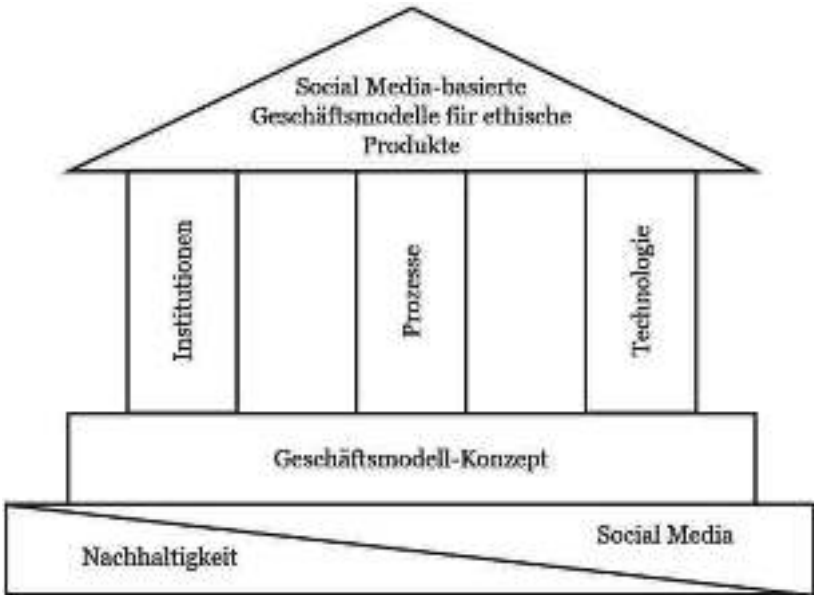


Abb. 1: Mögliche Struktur für Social Media-basierte Geschäftsmodelle für ethische Produkte

3.1 Nachhaltigkeit

Die Konzepte Nachhaltigkeit und Social Media könnten die Ausgangspunkte für neue Geschäftsmodelle bilden. Nachhaltigkeit, die auf den drei Säulen Ökologie, Ökonomie und Soziales beruht [Wo87], wurde im Rahmen der Wirtschaftsinformatik lange vorrangig in Bezug auf ökologische Nachhaltigkeit diskutiert (vgl. z.B. [Me10], [MMW13]). Mittlerweile gewinnt die Erkenntnis, dass soziale Belange ebenso relevant sind, an Bedeutung (vgl. z.B. [SRV13], [Se17]), wobei auch dabei das Hauptaugenmerkt auf der Ökologie liegt. Beiträge, die sich vorrangig mit der sozialen Perspektive der Nachhaltigkeit beschäftigen sind eher selten [RKB14]. Tan et al. haben für sog. Taobao Villages – einen ähnlichen Anwendungsfall – ein Erklärungsmodell entwickelt, wie durch die Förderung der Informationsverarbeitungsfähigkeiten die Marktfähigkeit von Klein- und Kleinstprodu-

zenten erhöht wird [TPC14]. Unklar bleibt bei der Untersuchung allerdings inwiefern soziale Aspekte wie z.B. die Kultur oder die Migration beeinflusst werden. Somit lässt sich folgende relevante Forschungsfrage ableiten:

> **FF1:** Wie beeinflusst eine erhöhte Informationsverarbeitungsfähigkeit die soziale Struktur marginaler Gesellschaften?

3.2 Social Media

Social Media wird bereits in einer Vielzahl von betriebswirtschaftlichen Funktionen eingesetzt. Als Beispiele können das Marketing [Or17], das Knowledge Management [Kr12] oder das Supply Chain Management [JKA14] genannt werden. Allerdings birgt der Einsatz von Social Media für Unternehmen auch Gefahren, wenn sie nicht über die notwendigen Voraussetzungen verfügen [GK15]. Das von Geyer und Krumay erarbeitete Reifegradmodell [GK15] bezieht sich allerdings auf Unternehmen im klassischen Sinn. Es ist fraglich, ob Klein- und Kleinstproduzenten damit ebenfalls erfassbar sind, da ihre Organisationsform nur bedingt mit klassischen Unternehmen vergleichbar ist und somit andere Rahmenbedingungen gelten [ADG13]. Bei dem Einsatz von Social Media besteht, selbst wenn die Anwendbarkeit gegeben und die notwendigen Voraussetzungen erfüllt sind, trotzdem die Gefahr, dass aufgrund der subjektiven Einstellungen der in der Kommunikation involvierten (externen) Personen Informationen verfälscht werden [SD13]. Deshalb entsteht die Forschungsfrage:

> **FF2:** Sind marginalisierte Klein- und Kleinstproduzenten bereit für den betriebswirtschaftlichen Einsatz von Social Media?

3.3 Geschäftsmodelle

Nachhaltigkeit und Social Media dienen zur Definition der strategischen Basis für zukünftige Geschäftsmodelle. Um mit dieser Strategie Wertschöpfung zu generieren, bedarf es eines Geschäftsmodells [Di12]. Aus dem Geschäftsmodell können wiederum konkrete Geschäftsprozesse abgeleitet werden [OPT05]. Massa et al. [MTA17] unterteilen Wertschöpfung in die Wertschöpfung durch Unternehmen („supply side“) sowie die laut ihnen bisher wenig betrachtete Wertschöpfung durch die Kunden („demand side“) und schlagen drei Interpretationsmöglichkeiten von Geschäftsmodellen vor: a) Geschäftsmodelle als Attribute von realen Unternehmen, b) Geschäftsmodelle als kognitives/linguistisches Schema und c) Geschäftsmodelle als formale, konzeptuelle Beschreibung der Funktionsweise von Unternehmen. Die Autoren nennen als Forschungsbedarf u.a. genauere Untersuchungen zu Möglichkeiten der Wertschöpfung durch den Kunden, sowie unter dem Aspekt des strategischen Managements vergleichende Untersuchungen zum Einfluss des Unternehmensumfelds bzw. der Geschäftsmodelle auf den Unternehmenserfolg [MTA17].

Veit et al. [Ve14] sprechen sich für drei Forschungsrichtungen in Bezug auf Geschäfts-

modelle aus: a) Geschäftsmodelle in der IT-Industrie, b) durch IT ermöglichte oder digitale Geschäftsmodelle und c) IT-Unterstützung für die Entwicklung und das Management von Geschäftsmodellen. Für den hier diskutierten Anwendungsfall sind die offenen Fragen in Bezug auf durch IT ermöglichte Geschäftsmodelle von Interesse. Neben der Frage nach Möglichkeiten, wie Informations- und Kommunikationstechnologien einen Mehrwert für alle Stakeholder leisten können, sind ähnlich wie bei Massa et al. [MTA17] Möglichkeiten der Einbindung des Kunden in die Geschäftsmodelle im Hinblick auf die Monetarisierung seiner Aktivitäten und dem Potential von Social Media von zentraler Bedeutung [Ve14].

Die Einbindung der Konsumenten in die Wertschöpfung könnte ein wesentlicher Erfolgsfaktor für zukünftige Geschäftsmodelle von Klein- und Kleinstproduzenten sein. Im engeren Sinn könnte dies die Einbindung in die Entwicklung von Produkten sowie in die Durchführung logistischer Aktivitäten im Rahmen der Distribution beinhalten. Im weiteren Sinn einer Wertschöpfung könnten die Konsumenten durch den Einsatz von Social Media in das Nachhaltigkeits-Reporting eingebunden werden. Nachhaltigkeits-Reportings stellen für Unternehmen ein wichtiges – aber aufgrund von Greenwashing-Wahrnehmungen seitens der Konsumenten gleichzeitig ambivalentes – Kommunikationsinstrument dar, um ihren Stakeholdern ihr Engagement zu erklären [FT13]. Social Media scheint hierbei ein sehr geeignetes Tool für eine kollektive Evaluierung von Nachhaltigkeitsmaßnahmen zu sein, da eine direkte, individualisierte Interaktion mit den Konsumenten, Lieferanten und weiteren Stakeholdern einen hohen Nutzen haben kann [GT13]. Damit könnte ein großes Problem der Branche gelöst werden, weil derzeit die von den Konsumenten erwarteten Nachhaltigkeitsmaßnahmen nicht mit den von den Unternehmen umgesetzten Maßnahmen übereinstimmen und dadurch bei den Konsumenten Vertrauen zerstört und Verwirrungen erzeugt werden [Cr16]. Unternehmensübergreifend kann dieser Ansatz unter Umständen auch für die Erhöhung des Vertrauens der Konsumenten in Zertifizierungen genutzt werden. Diese Erkenntnisse führen zu den Forschungsfragen:

FF3: Ist das Unternehmensumfeld ausschlaggebend für den Erfolg von marginalisierten Klein- und Kleinstproduzenten?

FF4: Wie müssen Klein- und Kleinstproduzenten ihre Geschäftsmodelle als kognitives/linguistisches Schema beschreiben, um Konsumenten integrieren zu können?

FF5: Können (pro-) aktive Wertschöpfungsaktivitäten der Konsumenten in den Geschäftsmodellen monetarisiert werden?

FF6: (Wie) kann Social Media in der Auftragsabwicklung von marginalisierten Klein- und Kleinstproduzenten genutzt werden?

FF7: (Wie) kann Social Media als Nachhaltigkeits-Berichtsinstrument für die Wertschöpfung bei marginalisierten Klein- und Kleinstproduzenten eingesetzt werden?

FF8: Entsteht ein messbarer Mehrwert für Klein- und Kleinstproduzenten sowie für die Stakeholder durch die Integration der Konsumenten in die Wertschöpfung?

3.4 Adaptionsmodelle

Ergänzend zu den beschriebenen Konzepten zur Gestaltung eines Social Media-basierten Geschäftsmodells für ethische Produkte ist die Betrachtung der Adaption der Innovationen bzw. neuen Technologien durch die involvierten Akteure ein elementarer Aspekt. Wesentlich scheinen dabei die Diffusionstheorie, das Technologieakzeptanzmodell sowie das Technology-Organization-Environment-Framework, die zur Beantwortung der unterschiedlichen Forschungsfragen herangezogen werden können.

Die Diffusionstheorie erklärt, wie eine Innovation in einem sozialen System adaptiert wird und sich entwickelt [Ro03]. Sie kann als Basistheorie für die anderen Ansätze angesehen werden, wobei sie teilweise komplementär mit dem Technologieakzeptanzmodell [LHH11] wie auch mit dem Technology-Organization-Environment-Framework [OM11], [CCC17] genutzt wird.

Das Technologieakzeptanzmodell erklärt die Adaption von (technologischen) Innovationen auf der subjektiven Ebene [Da86]. Sie stellt somit eine perspektivische Alternative zur Diffusionstheorie dar. Die subjektive Betrachtung der Innovationsakzeptanz ist in dem hier beschriebenen Fall insbesondere bei der Untersuchung der Klein- und Kleinstproduzenten sowie der Konsumenten von hoher Bedeutung.

Das Technology-Organization-Environment-Framework beschreibt, wie ein Unternehmen neue Technologien adaptiert und implementiert [TFC90]. Somit ist das Framework für die Betrachtung der Innovationsadaption im organisationalen Kontext geeignet, der in dem hier beschriebenen Fall intraorganisational (Unternehmen und Non-Profit-Organisationen) sowie interorganisational (Wertschöpfungskette) vorliegt.

4 Entwicklung einer Forschungsagenda für Social Media-basierte Geschäftsmodelle für ethische Produkte

Die im vorherigen Kapitel entwickelten Forschungsfragen beinhalten Abhängigkeiten, die eine strukturierte Vorgehensweise erfordern. Grundvoraussetzungen für die Entwicklung bzw. Umsetzung von Social Media-basierten Geschäftsmodellen für ethische Produkte sind einerseits die Fähigkeit der Klein- und Kleinstproduzenten Social Media betriebswirtschaftlich nutzen zu können (**FF2**) und andererseits eine adäquate Beschreibung ihrer Geschäftsmodelle als kognitives/linguistisches Schema, um Konsumenten integrieren zu können (**FF4**). Daher sind diese Fragen zuerst zu untersuchen. Aufbauend darauf können die Forschungsfragen untersucht werden, ob Konsumenten in die Wertschöpfung im engeren Sinn (**FF6**) und/oder in die Wertschöpfung im weiteren Sinn (**FF7**) eingebunden

werden können. Gelingt diese Einbindung, lassen sich die Frage nach der Monetarisierbarkeit der (pro-) aktiven Wertschöpfungsaktivitäten der Konsumenten (**FF5**) als betriebswirtschaftliche Perspektive sowie darüber hinausgehend die Frage nach der Entstehung eines messbareren (nicht monetären) Mehrwerts für Klein- und Kleinstproduzenten sowie für die Stakeholder (**FF8**) als gesellschaftliche Perspektive untersuchen. Die bis dahin gewonnenen Ergebnisse dienen als Grundlage, um die Fragen nach dem Einfluss des Unternehmensumfelds auf den Unternehmenserfolg (**FF3**) und der Auswirkung einer erhöhten Informationsverarbeitungsfähigkeit auf die soziale Struktur marginaler Gesellschaften (**FF1**) beantworten zu können.

Abb. 2 gibt einen Überblick zu der beschriebenen Agenda zur Bearbeitung der Forschungsfragen.

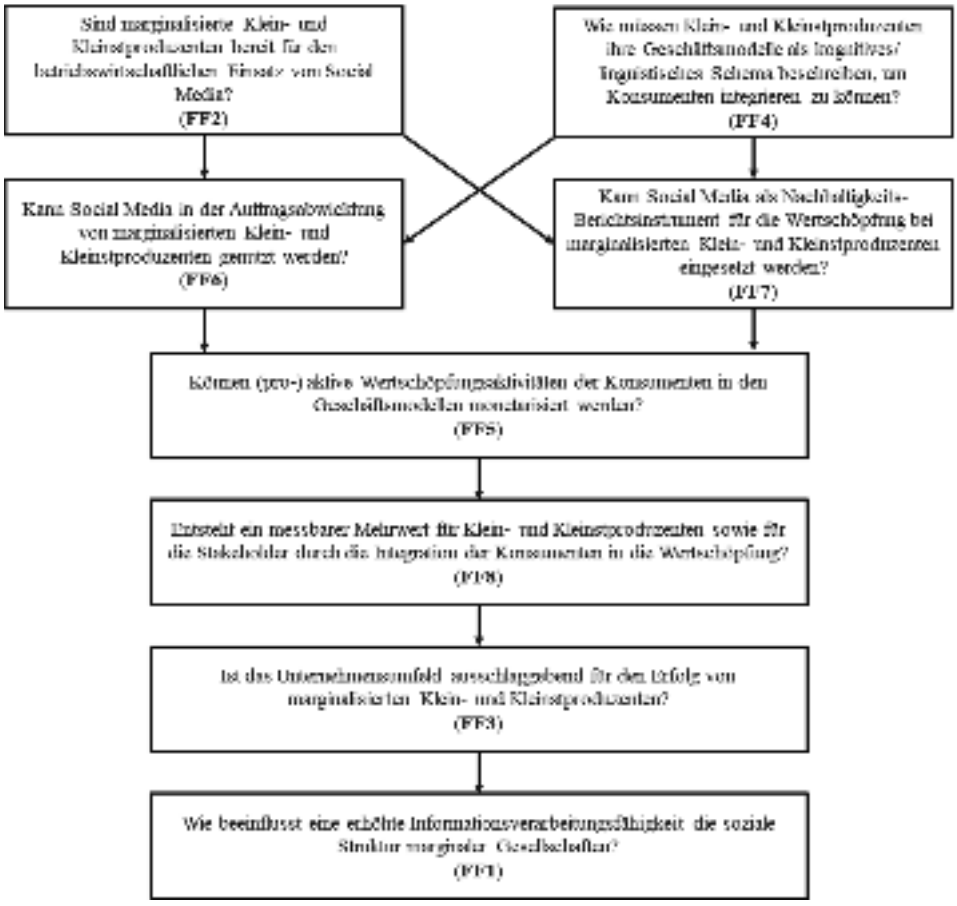


Abb. 2: Forschungsagenda für Social Media-basierte Geschäftsmodelle für ethische Produkte

5 Schlussbetrachtung

Der vorliegende Beitrag beschreibt vor dem Hintergrund der aktuellen Migrationsdebatte einen Ansatz, mit dem die Migration aufgrund von sozioökonomischer Ungleichheit reduziert werden könnte. Die (Weiter-) Entwicklung von Geschäftsmodellen des ethischen Konsums mit Hilfe von Social Media und ähnlichen Instrumenten stellt eine Möglichkeit dar, einfache wirtschaftliche Strukturen in den Herkunftsländern aufzubauen, die den Menschen vor Ort eine Perspektive bieten und somit den Migrationsdruck lindern. Um diese Effekte erreichen zu können, bedarf es Untersuchungen, ob Konsumenten in die Wertschöpfung von Klein- und Kleinstproduzenten eingebunden werden können und in welchen Phasen der Wertschöpfung der Nutzen am größten ist. Außerdem muss erforscht werden, inwieweit Klein- und Kleinstproduzenten in marginalen Regionen in der Lage sind, Innovationen bzw. neue Technologien zu adaptieren. Da es sich in diesem Fall um eine eher spezielle Form von Anwendern handelt, müssen ggf. bestehende Theorien, Modelle und Konzepte wie die Diffusionstheorie, das Technologieakzeptanzmodell sowie das Technology-Organization-Environment-Framework erweitert bzw. ergänzt werden.

Diese Arbeit unterliegt allerdings auch Limitationen. So existieren bisher kaum empirische Daten bzw. nur wenig Literatur, die die beschriebenen Klein- und Kleinstproduzenten genauer untersucht [TPC14]. Weil anzunehmen ist, dass diese durch ihr jeweiliges soziales, gesellschaftliches, wirtschaftliches und kulturelles Umfeld sowie die geografischen Gegebenheiten unterschiedlich geprägt sind, muss davon ausgegangen werden, dass die Klein- und Kleinstproduzenten insgesamt sehr heterogen sind. Somit ist eine Verallgemeinerung der hier aufgeführten Annahmen eher schwierig, was die Objektivität der Arbeit beeinträchtigt.

Durch diese Arbeit entsteht weiterer Forschungsbedarf, der größtenteils bereits in den entwickelten Forschungsfragen beschrieben wurde. Darüber hinaus sollten in weiteren Schritten die hier beschriebenen Klein- und Kleinstproduzenten sowie die Wertschöpfungsnetzwerke, in die sie integriert sind, genauer untersucht werden, um ein tieferes Verständnis erzeugen und die ersten vorgestellten Ergebnisse bestätigen zu können.

Literaturverzeichnis

[Ab13] Abel-Koch, J.: Who Uses Intermediaries in International Trade? Evidence from Firm-level Survey Data. In The World Economy, 2013, 36; S. 1041–1064.

[ADG13] Aral, S.; Dellarocas, C.; Godes, D.: Introduction to the special issue—social media and business transformation: a framework for research. In Information Systems Research, 2013, 24; S. 3–13.

[An15] Anderson, M.: Oxfam ‘Helping by Selling’. Charity, Trade and Advocacy. In (Anderson, M. Hrsg.): A History of Fair Trade in Contemporary Britain. From Civil Society Campaigns to Corporate Compliance. Palgrave Macmillan UK, London, 2015; S. 23–43.

[BCB08] Brito, M. P. de; Carbone, V.; Blanquart, C. M.: Towards a sustainable fashion retail supply chain in Europe: Organisation and performance. In Special Section on Logistics Management in Fashion Retail Supply Chains, 2008, 114; S. 534–553.

[Be08] Beard, N. D.: The Branding of Ethical Fashion and the Consumer: A Luxury Niche or Mass-market Reality? In Fashion Theory, 2008, 12; S. 447–467.

[BGT15] Bernard, A. B.; Grazzi, M.; Tomasi, C.: Intermediaries in international trade: Products and destinations. In Review of Economics and Statistics, 2015, 97; S. 916–920.

[BJK11] Bray, J.; Johns, N.; Kilburn, D.: An Exploratory Study into the Factors Impeding Ethical Consumption. In Journal of Business Ethics, 2011, 98; S. 597–608.

[Bo11] Bown, C. P.: Developing Countries, New Trade Barriers, and the Global Economic Crisis. In (Haddad, M.; Shepherd, B. Hrsg.): Managing openness. Trade and outward-oriented growth after the crisis. World Bank, Washington, D.C., 2011; S. 63–83.

[Br97] Brewster, C. R.: Restoring Childhood: Saving the World's Children from Toiling in Textile Sweatshops. In Journal of Law & Commmerce, 1997, 16; S. 191.

[Bu00] Bullert, B. J.: Progressive public relations, sweatshops, and the net. In Political Communication, 2000, 17; S. 403–407.

[CA16] Cherny-Scanlon, X.; Agnes, K.: Time for a Responsible Fashion Council? In (Muthu, S. S.; Gardetti, M. A. Hrsg.): Green Fashion. Springer, Singapore, Heidelberg, 2016; S. 123–150.

[CCC17] Chiu, C.-Y.; Chen, S.; Chen, C.-L.: An integrated perspective of TOE framework and innovation diffusion in broadband mobile applications adoption by enterprises. In International Journal of Management, Economics and Social Sciences (IJMESS), 2017, 6; S. 14–39.

[CCW12] Choi, T.; Chan, T.; Wong, C. W.: The consumption side of sustainable fashion supply chain. In Journal of Fashion Marketing and Management: An International Journal, 2012, 16; S. 193–215.

[Ch12] Choi, T.-M. et al.: Ethical fashion supply chain management. In Journal of Fashion Marketing and Management: An International Journal, 2012, 16; S. 125–127.

[Cr16] Crane, D.: The puzzle of the ethical fashion consumer. Implications for the future of the fashion system. In International Journal of Fashion Studies, 2016, 3; S. 249–265.

[CW12] Cervellon, M.-C.; Wernerfelt, A.-S.: Knowledge sharing among green fashion communities online: Lessons for the sustainable supply chain. In Journal of Fashion Marketing and Management: An International Journal, 2012, 16; S. 176–192.

[Da86] Davis, F. D.: A technology acceptance model for empirically testing new end-user information systems. Theory and results, 1986.

[Di12] Di Valentin, C. et al.: Towards a Framework for Transforming Business Models into Business Processes: 18th Americas Conference on Information Systems, AMCIS 2012, Seattle, Washington August 9-11, 2012, 2012.

[Di14] Dikova, D. et al.: Export diversity or focus? What strategy is best for first-time internationalizing SMEs from an emerging market?, Wien, 2014.

[Di99] Dickson, M. A.: US consumers' knowledge of and concern with apparel sweatshops. In Journal of Fashion Marketing and Management: An International Journal, 1999, 3; S. 44–55.

[DL96] Dickson, M. A.; Littrell, M. A.: Socially responsible behaviour. Values and attitudes of the alternative trading organisation consumer. In Journal of Fashion Marketing and Management: An International Journal, 1996, 1; S. 50–69.

[DLA12] Davies, I. A.; Lee, Z.; Ahonkhai, I.: Do Consumers Care About Ethical-Luxury? In Journal of Business Ethics, 2012, 106; S. 37–51.

[Eu03] Europäische Kommission: Empfehlung der Kommission vom 6. Mai 2003 betreffend die Definition der Kleinstunternehmen sowie der kleinen und mittleren Unternehmen. (Bekannt gegeben unter Aktenzeichen K(2003) 1422), (2003/361/EG). In Amtsblatt der Europäischen Union, 2003, L 124; 36–41.

[FT13] Freundlieb, M.; Teuteberg, F.: Corporate social responsibility reporting - a transnational analysis of online corporate social responsibility reports by market-listed companies. Contents and their evolution. In International Journal of Innovation and Sustainable Development, 2013, 7; S. 1.

[GF13] Gleissner, H.; Femerling, J. C.: Logistics. Basics — Exercises — Case Studies. Springer International Publishing, Cham, 2013.

[GK15] Geyer, S.; Krumay, B.: Development of a Social Media Maturity Model -- A Grounded Theory Approach: Proceedings of the 2015 48th Hawaii International Conference on System Sciences. IEEE Computer Society, 2015; S. 1859–1868.

[GT13] Gräuler, M.; Teuteberg, F.: Ergebnisse einer qualitativen Befragung zur Gestaltung von Nachhaltigkeitsberichten. In (Marx Gómez, J.; Lang, C.; Wohlgemuth, V. Hrsg.): IT-gestütztes Ressourcen- und Energiemanagement. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2013; S. 323–334.

[Ha99] Halem, S. C.: Slaves to Fashion: A Thirteenth Amendment Litigation Strategy to Abolish Sweatshops in the Garment Industry. In San Diego L. Rev., 1999, 36; S. 397.

[HB16] Haug, A.; Busch, J.: Towards an Ethical Fashion Framework. In Fashion Theory, 2016, 20; S. 317–339.

[HD09] Hustvedt, G.; Dickson, M. A.: Consumer likelihood of purchasing organic cotton apparel: Influence of attitudes and self-identity. In Journal of Fashion Marketing and Management: An International Journal, 2009, 13; S. 49–65.

[Ji11] Jin Gam, H.: Are fashion-conscious consumers more likely to adopt eco-friendly clothing? In Journal of Fashion Marketing and Management: An International Journal, 2011, 15; S. 178–193.

[JKA14] Jussila, J. J.; Kärkkäinen, H.; Aramo-Immonen, H.: Social media utilization in business-to-business relationships of technology industry firms. In Computers in Human Behavior, 2014, 30; S. 606–613.

[Jo06] Joergens, C.: Ethical fashion: myth or future trend? In Jnl of Fashion Mrkting and Mgt, 2006, 10; S. 360–371.

[JSS12] Jegethesan, K.; Sneddon, J. N.; Soutar, G. N.: Young Australian consumers' preferences for fashion apparel attributes. In Journal of Fashion Marketing and Management: An International Journal, 2012, 16; S. 275–289.

[KN09] Koh, A.-R.; Noh, J.-Y.: Ethical fashion consumer behavior in Korea-Factors influencing ethical fashion consumption. In Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles, 2009, 33; S. 1956–1964.

[Kr12] Krogh, G. von: How does social software change knowledge management? Toward a strategic research agenda. In The Journal of Strategic Information Systems, 2012, 21; S. 154–164.

[LHH11] Lee, Y.-H.; Hsieh, Y.-C.; Hsu, C.-N.: Adding innovation diffusion theory to the technology acceptance model: Supporting employees' intentions to use e-learning systems. In Educational Technology & Society, 2011, 14; S. 124–137.

[LJ14] Lucassen, G.; Jansen, S.: Gamification in Consumer Marketing - Future or Fallacy? In Procedia - Social and Behavioral Sciences, 2014, 148; S. 194–202.

[LT11] Lefèvre, M.; Tharakan, J.: Intermediaries, transport costs and interlinked transactions, 2011.

[Me10] Melville, N. P.: Information Systems Innovation for Environmental Sustainability. In MIS Quarterly, 2010, 34; S. 1–21.

[MFT15] Mehmann, J.; Frehe, V.; Teuteberg, F.: Crowd Logistics − A Literature Review and Maturity Model. In (Kersten, W.; Blecker, T.; Ringle, C. M. Hrsg.): Innovations and Strategies for Logistics and Supply Chains. Technologies, Business Models and Risk Management. epubli GmbH, Berlin, 2015; S. 117–145.

[MMW13] Malhotra, A.; Melville, N. P.; Watson, R. T.: Spurring impactful research on information systems for environmental sustainability. In MIS Q, 2013, 37; S. 1265–1273.

[MTA17] Massa, L.; Tucci, C. L.; Afuah, A.: A Critical Assessment of Business Model Research. In Academy of Management Annals, 2017, 11; S. 73–104.

[OM11] Oliveira, T.; Martins, M. F.: Literature review of information technology adoption models at firm level. In The Electronic Journal Information Systems Evaluation, 2011, 14; S. 110–121.

[OPT05] Osterwalder, A.; Pigneur, Y.; Tucci, C. L.: Clarifying business models: Origins, present, and future of the concept. In Communications of the Association for Information Systems, 2005, 16; S. 1–25.

[Or17] Ordenes, F. V. et al.: Unveiling What Is Written in the Stars: Analyzing Explicit, Implicit, and Discourse Patterns of Sentiment in Social Media. In Journal of Consumer Research, 2017, 43; 875-894.

[Pe16] Petrucci, M.: An economic take on the refugee crisis. A macroeconomic assessment for the EU, Luxembourg, Luxembourg, 2016.

[RKB14] Rickenberg, T. A.; Koukal, A.; Breitner, M. H.: Building a Better World through Information Systems - An Explorative Survey among Leading IS Researchers: Proceedings of the International Conference on Information Systems - Building a Better World through Information Systems, ICIS 2014, Auckland, New Zealand, December 14-17,

2014, 2014.

[Ro03] Rogers, E. M.: Diffusion of innovations. Free Press, New York, London, Toronto, Sydney, 2003.

[RPÖ16] Ratha, D.; Plaza, S.; Özden, Ç.: Migration and development. a role for the World Bank Group, Washington, D.C., 2016.

[Sc11] Schütte-Biastoch, S.: Unternehmensbewertung von KMU. Eine Analyse unter besonderer Berücksichtigung dominierter Bewertungsanlässe. Zugl.: Lüneburg, Univ., Diss., 2010. Gabler Verlag / Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH Wiesbaden, Wiesbaden, 2011.

[SD13] Stieglitz, S.; Dang-Xuan, L.: Emotions and information diffusion in social media—sentiment of microblogs and sharing behavior. In Journal of Management Information Systems, 2013, 29; S. 217–248.

[Se17] Seidel, S. et al.: The sustainability imperative in information systems research. In Communications of the Association for Information Systems, 2017, 40; S. 3.

[SRV13] Seidel, S.; Recker, J. C.; Vom Brocke, J.: Sensemaking and sustainable practicing: functional affordances of information systems in green transformations. In Management Information Systems Quarterly, 2013, 37; S. 1275–1299.

[TFC90] Tornatzky, L. G.; Fleischer, M.; Chakrabarti, A. K.: The processes of technological innovation. Lexington Books, Lexington, Mass., 1990.

[TPC14] Tan, T. C. F.; Pan, S. L.; Cui, L.: An Information Processing Perspective of Digital Social Innovation: Insights from China's Taobao Villages - Building a Better World through Information Systems, ICIS 2014, Auckland, New Zealand, December 14-17, 2014. In (Myers, M. D.; Straub, D. W. Hrsg.): Proceedings of the International Conference on Information Systems - Building a Better World through Information Systems, ICIS 2014, Auckland, New Zealand, December 14-17, 2014. Association for Information Systems, 2014.

[Un16] United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division: International Migration Report 2015, New York, NYC, 2016.

[Ve14] Veit, D. et al.: Business Models. An Information Systems Research Agenda. In Business & Information Systems Engineering, 2014, 6; S. 45–53.

[Wo87] World Commission on Environment and Development: Our common future. Oxford University Press, Oxford, New York, 1987.

CSCOG – Computer Science & Cognition

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 2273

Computer Science meets Cognition: Möglichkeiten und Herausforderungen interdisziplinärer Kognitionsforschung

Maria Wirzberger[1], Martina Truschzinski[2], René Schmidt[3], Maria Barlag[4]

Abstract: Basierend auf der zunehmenden disziplinären Verschränkung informatischer und psychologischer Forschungsansätze zur Beantwortung kognitionsbezogener Fragestellungen, adressiert der Workshop entstehende Möglichkeiten und Herausforderungen aus einer interdisziplinären Perspektive heraus.

Keywords: Kognition; Psychologie; Informatik; Interdisziplinarität

1 Motivation

Da sich einerseits menschliche Kognition nicht mit dem Wissen aus einer einzigen Disziplin "entschlüsseln" lässt nutzt die moderne Kognitionsforschung mehr und mehr informatische Methoden. Um andererseits auf menschliche Fähigkeiten und Bedarfe abgestimmte Technik zu entwickeln, spielen in der Informatik kognitionswissenschaftliche Erkenntnisse eine immer wichtigere Rolle. Basierend auf dieser Verschränkung bedient sich das DFG-Graduiertenkolleg CrossWorlds[5] eines interdisziplinären Ansatzes, bei dem Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus informatischen und psychologischen Fachgebieten in engem Austausch miteinander unter anderem an kognitionsorientierten Fragestellungen forschen.

2 Einordnung des Workshops

Interdisziplinäre Forschungsansätze bieten aufgrund der Verknüpfung von Ideen und Lösungen der einzelnen Fachdisziplinen eine wichtige Grundlage für neue Erkenntnisse. Allerdings entstehen durch die unterschiedlichen disziplinär verorteten Sichtweisen und Methoden auch erhebliche Probleme und Diskussionen, welche zu Schwierigkeiten innerhalb gemeinsamer Forschungsprojekte führen können. Potentielle Chancen, Herausforderungen und Grenzen

[1] TU Chemnitz, Psychologie digitaler Lernmedien, maria.wirzberger@phil.tu-chemnitz.de
[2] TU Chemnitz, Prozessautomatisierung, mtru@hrz.tu-chemnitz.de
[3] TU Chemnitz, Technische Informatik, rene.schmidt@informatik.tu-chemnitz.de
[4] TU Chemnitz, Graphische Datenverarbeitung und Visualisierung, maria.barlag@informatik.tu-chemnitz.de
[5] http://crossworlds.info/

doi:10.18420/in2017_227

sollen im folgenden erläutert und während des Workshops mit den Teilnehmerinnen und Teilnehmern diskutiert werden.

2.1 Interdisziplinarität aus Sicht der Psychologie

Im Mittelpunkt der Psychologie steht der Erkenntnisgewinn in Bezug auf menschliches Erleben und Verhalten [Co97]. Dabei lassen sich vier wesentliche Ziele definieren: Im Kontext des *Beschreibens* geht es um die Frage nach dem "Was", d.h. dem benennen und klassifizieren von Verhalten, basierend auf einem sorgfältigen und systematisierten methodischen Vorgehen. Dies bildet die Grundlage für die weitere Erforschung und Aufklärung beobachteter Phänomene sowie die spätere Replizierbarkeit von Befunden. Gegenstand des *Verstehens* bzw. *Erklärens* bildet die Frage nach dem "Wieso". Hier wird bestehendes, theoriegestütztes Wissen herangezogen, um beobachtetes Verhalten auf bestimmte Ursachen zurückzuführen. Damit verbunden ist die Entwicklung neuer Erklärungsansätze und Hypothesen, wenn bisherige Erkenntnisse an ihre Grenzen stoßen. Auf dieser Grundlage können *Vorhersagen* über zukünftiges Verhalten aufgestellt werden, die bei der Planung von Interventionen zur *Kontrolle* bzw. *Modifikation* definierter Verhaltensaspekte Relevanz erlangen.

Neben ihrem Forschungsgegenstand besteht ein wesentliches Charakteristikum der Psychologie als Wissenschaft in ihrer elaborierten empirischen Forschungsmethodik [We00]. Etablierte inferenzstatistische Methoden werden herangezogen, um auf Basis validierter Testverfahren und kontrollierter experimenteller Szenarios zuvor aufgestellte Hypothesen über menschliches Verhalten zu prüfen. Während verhaltensbezogene Parameter in der Regel recht zuverlässig anhand objektiv beobachtbarer Indizes erfassbar sind (z.B. die Anzahl vergessener Begriffe in einer Lernaufgabe oder Reaktionszeiten bei präsentierten Stimuli), stellt die saubere empirische Erfassung des menschlichen Erlebens nach wie vor eine zentrale Herausforderung der Psychologie dar. Introspektive Verfahren unterliegen stark subjektiven Einflussfaktoren und lassen sich schwer kontrollieren, und auch wenn psychophysiologische und bildgebende Verfahren zunehmend Einblick in die menschliche Erfahrungswelt gewähren, ist deren Einsatz nach wie vor aufwändig und mit hohen Anforderungen an Expertise und Material verbunden.

Speziell an dieser Schnittstelle zeigt sich der Mehrwert informatischer Simulations- und Modellierungsmethoden, um kognitive, emotionale und motivationale Prozesse und Mechanismen in formalisierter und kontrollierter Form computerbasiert nachzubilden [Ta95, Sa06]. Damit eröffnet sich jedoch auch ein zentrales Problemfeld der disziplinären Verschränkung beider Forschungstraditionen: Während in der Informatik mit einer gewissen Beliebigkeit Algorithmen und Datenstrukturen hinsichtlich zunehmend schnellerer und effizienterer Systemleistung optimiert werden können, ist für die Psychologie die strikte theoretische Orientierung an neurophysiologisch und kognitionswissenschaftlich fundierten Erkenntnissen unverzichtbar [An07]. Es geht hier nicht darum, eine künstlich intelligente Entität zu schaffen, welche den Menschen an Leistungsfähigkeit übertrifft, sondern vielmehr

darum, mittels fundierter Simulationen menschliches Erleben und Verhalten zu erklären und vorherzusagen.

Ein daraus folgender Mehrwert der disziplinären Verschränkung aus psychologischer Sicht zeigt sich in der Realisierung technisch aufwändiger Versuchsaufbauten, beispielsweise unter Nutzung von Agenten- bzw. Robotersystemen oder künstlich erzeugten virtuellen Welten. Basierend auf fundierten informatischen Konzepten, Algorithmen und Datenstrukturen ermöglichen derartige Szenarios eine organisierte und umfassende Aufzeichnung aufgabenbezogener Verhaltensparameter und damit sehr viel detailliertere Einblicke in die menschliche Reaktion auf das technische System. Auch können auf diese Weise laborexperimentell gewonnene psychologische Grundlagenerkenntnisse in alltagsnahe Testszenarien transferiert werden. Das technische System nimmt an dieser Stelle eine Art Mediatorfunktion ein, auf Basis derer ökologisch validere Vorhersagen über menschliches Verhalten möglich werden.

2.2 Interdisziplinarität aus Sicht der Informatik

Gegenstand der Informatik als Wissenschaft ist die systematische Verarbeitung von Informationen mit Hilfe digitaler Technik. Dies umfasst neben der softwareseitigen Entwicklung von Algorithmen und dem hardwareseitigen Entwurf von Rechentechnik auch deren Anwendung in breiteren Wissenschafts- und Gesellschaftsbereichen. Kognition in der Informatik spielt vor allem in der Modellierung innerhalb technischer Systeme eine große Rolle. Diese wird einerseits dazu genutzt um Computern, virtuellen Agenten oder Robotern die Fähigkeit zu geben, Informationen wahrzunehmen [Ha05], zu verarbeiten sowie Schlüsse zu ziehen [At10] und dementsprechend zu handeln [JW98]. Andererseits soll daraus die Möglichkeit erwachsen, menschliches Verhalten zu verstehen [Sa06, Pa06], zu berechnen [Pa06]oder vorherzusagen [Zi09].
Das Ziel liegt dabei darin, Interaktionen zwischen Mensch und System zu verbessern oder überhaupt erst zu ermöglichen [Ba95, FND03], beziehungsweise autonome Systeme zu erstellen, die selbstständig Aufgaben lösen können [VMS07]. Im Zuge dessen spielen psychologische Modelle eine wichtige Rolle, da der Mensch von Natur aus vollständig autonom in der Welt agiert und zum Vorbild für operative Modelle hinter den zu entwickelnden Systemen werden kann [We01]. Darüber hinaus kann menschliches Verhalten als Vergleichsgrundlage für Systeme dienen [Cl97], die menschliche Aktivitäten effektiv und effizient unterstützen oder, beispielsweise im Rahmen von Nutzertests, ersetzen. Die Herausforderung besteht an dieser Stelle darin, dass das Ziel der Entwicklung nicht die Erschaffung einer künstlichen Konkurrenz ist, sondern solche Systeme vielmehr Möglichkeiten zur Selbstverwirklichung des Menschen bereitstellen sollen. Hierbei ist eine Verschränkung beider Forschungstraditionen erforderlich, da in einer harmonischen Interaktion von Mensch und Technik Akzeptanz, Ausgleich und Einfühlungsvermögen statt Ignoranz, Übernahme oder Einseitigkeit an vorderster Stelle stehen sollten.

Der Einsatz technischer Systeme steigt zunehmend, autonome Systeme halten, beispielsweise in Fahrzeugen, Einzug in den Alltag und auch Roboter werden immer breiter eingesetzt. Vor diesem Hintergrund spielen interdisziplinäre Forschungskontexte eine wichtige Rolle und bieten eine bedeutsame Grundlage für die Verbesserung der Interaktionsmöglichkeiten zwischen Mensch und Technik. Allerdings gestaltet sich die Zusammenarbeiten der Disziplinen bisweilen sehr schwierig, weil jede Disziplin ihre eigenen Methoden, Begrifflichkeiten und Ziele mitbringt. Dies kann zu Schwierigkeiten im Transfer der Erkenntnisse führen. Ein konkretes Problem zwischen Psychologie und Informatik erwächst vor allem aus den Restriktionen, denen wissenschaftlichen Arbeiten der jeweiligen Disziplinen unterlegen sind. Informatische Modelle müssen abbildbar und berechenbar sein, während psychologisch inspirierte Begriffsdefinitionen an diese Restriktion angepasst und dafür zuvor innerhalb der jeweiligen Konstrukte eingegrenzt werden müssen. Auch benötigen derartige Modelle eine breite Datenbasis worauf sie konstruiert und auch validiert werden können. Ihre Vorteile liegen vor allem in der Testbarkeit von Hypothesen. Zusammenhänge innerhalb eines Modells können mit geringem Aufwand geändert und die Konsequenzen schnell berechnet werden. Die auf diese Weise generierten Erkenntnisse können widersprüchliche Ergebnisse erklären oder neue fehlende Parameter oder Einflüsse detektieren, die anschließend mit Hilfe neuer Experimente untersucht und nachgewiesen werden können.

Eine weitere Perspektive auf die interdisziplinäre Verschränkung informatischer und psychologischer Forschungstraditionen legt den Fokus stärker auf die jeweiligen methodischen Herangehensweisen. Während die Informatik technische Abläufe bzw. abgeschlossene Systeme beschreibt, versucht die Psychologie über eine möglichst große Menge an Stichproben Rückschlüsse auf das "System Mensch"zu ziehen. Dabei können beide Perspektiven bei entsprechender Abstraktion Parallelen aufweisen oder sich ergänzen, beispielsweise in der formalen Darstellung von Zusammenhängen und Prozessen oder der Nutzung ähnlicher methodischer Herangehensweisen zur Systemevaluation, worin sich die Stärke der gemeinsamen Betrachtung des Forschungsgegenstandes gründet. Aufgrund der notwendigen Transzendenz aus der disziplinären Verhaftung können unterschiedliche Interpretationen und Herangehensweisen zusammengeführt und damit umfassendere Schlussfolgerungen gezogen werden.

3 Inhalte des Workshops

Den Kernfokus des Workshops bilden ausgewählte thematische Beiträge aus interdisziplinären Forschungsprojekten, welche den Transfer der Wissensgebiete aus einer oder beiden Forschungstraditionen heraus adressieren. So beschäftigt sich die Arbeit von Esmaeili Bijarsari, Wirzberger und Rey mit der instruktionalen Gestaltung einer roboterbezogenen Lernaufgabe, während bei Wirzberger, Schmidt, Rey und Hardt die sprachliche Interaktion mit einem Agenten in einem virtuellen Trainingssetting im Fokus steht. Die Arbeit von Truschzinski stellt ein systemtheoretisches Modell zur Vorhersage von Workload in einem Air Traffic Controller Szenario vor und Hirt und Kühl diskutieren abschließend

die Abbildung kognitiver Fähigkeiten in einem maschinellen Lernansatz. Eine moderierte Plenumsiskussion zu den daraus erwachsenden Herausforderungen sowie aktuellen Entwicklungen im Forschungsfeld rundet die vorgestellten Inhalte ab.

Literaturverzeichnis

[An07] Anderson, John R: How can the human mind occur in the physical universe? Oxford University Press, New York, 2007.

[At10] Atrey, Pradeep K.; Hossain, M. Anwar; El Saddik, Abdulmotaleb; Kankanhalli, Mohan S.: Multimodal fusion for multimedia analysis: a survey. 16(6):345–379, 2010. 00262.

[Ba95] Bannon, Liam J.: From Human Factors to Human Actors: The Role of Psychology and Human-Computer Interaction Studies in System Design. In: Readings in Human–Computer Interaction, S. 205–214. Elsevier, 1995. DOI: 10.1016/B978-0-08-051574-8.50024-8.

[Cl97] Clancey, William J.: Situated Cognition: On Human Knowledge and Computer Representations. Cambridge University Press, 1997. Google-Books-ID: H4KAEhUMnkgC.

[Co97] Coon, Dennis: Essentials of Psychology. New York: Brooks. Cole Publishing, 1997.

[FND03] Fong, Terrence; Nourbakhsh, Illah; Dautenhahn, Kerstin: A survey of socially interactive robots. 42(3):143–166, 2003.

[Ha05] Handbook of pattern recognition and computer vision, 2005. 00000.

[JW98] Jennings, N. R.; Wooldridge, M.: Applications of Intelligent Agents. In (Jennings, Nicholas R.; Wooldridge, Michael J., Hrsg.): Agent Technology, S. 3–28. Springer Berlin Heidelberg, 1998. DOI: 10.1007/978-3-662-03678-5_1.

[Pa06] Pantic, Maja; Pentland, Alex; Nijholt, Anton; Huang, Thomas: Human computing and machine understanding of human behavior: A survey. In: Proceedings of the 8th international conference on Multimodal interfaces. ACM, S. 239–248, 2006.

[Sa06] Salvucci, Dario D.: Modeling Driver Behavior in a Cognitive Architecture. 48(2):362–380, 2006.

[Ta95] Tack, Werner H: Repräsentation menschlichen Wissens. In (Dörner, Dietrich, van der Meer Elke, Hrsg.): Das Gedächtnis: Probleme-Trends-Perspektiven, S. 53–74. Hogrefe, Göttingen, 1995.

[VMS07] Vernon, D.; Metta, G.; Sandini, G.: A Survey of Artificial Cognitive Systems: Implications for the Autonomous Development of Mental Capabilities in Computational Agents. 11(2):151–180, 2007.

[We00] Westermann, Rainer: Wissenschaftstheorie und Experimentalmethodik: ein Lehrbuch zur psychologischen Methodenlehre. Hogrefe Verlag, 2000.

[We01] Weng, Juyang; McClelland, James; Pentland, Alex; Sporns, Olaf; Stockman, Ida; Sur, Mriganka; Thelen, Esther: Autonomous Mental Development by Robots and Animals. 291(5504):599–600, 2001.

[Zi09] Ziebart, B. D.; Ratliff, N.; Gallagher, G.; Mertz, C.; Peterson, K.; Bagnell, J. A.; Hebert, M.; Dey, A. K.; Srinivasa, S.: Planning-based prediction for pedestrians. In: 2009 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. S. 3931–3936, 2009.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 2279

Lernförderliche Gestaltung computerbasierter Instruktionen zur Roboterkonstruktion

Shirin Esmaeili Bijarsari[1], Maria Wirzberger[2] und Günter Daniel Rey[3]

Abstract: Durch den zunehmenden Einzug computerbasierter Technologien in den Lehr- und Lernbereich ist die Untersuchung der lernförderlichen Gestaltung wieder stärker in den Vordergrund gerückt. Besonders in praktisch-motorischen Lernszenarien besteht der Bedarf einer angepassten Methodik. Vor diesem Hintergrund diskutiert diese Studie eine Methodik zur computerbasierten Instruktion für die Konstruktion von Lego Mindstorm Robotern. In einem 2x2 Design werden die Instruktionselemente Guidance Fading und Color Coding auf ihre Lernförderlichkeit untersucht. Abschließend werden Vorteile der webbasierten Umsetzung der Studie diskutiert.

Keywords: Instruktionsgestaltung; Guidance Fading; Color Coding; Schemabildung; Roboterkonstruktion

1 Motivation

Computerbasierte Technologien finden vermehrte Relevanz im alltäglichen Gebrauch. In Lernumgebungen bieten sie eine Alternative und Verbesserung klassischer Lehrmethoden an. Der Einfluss dieser lernförderlichen Gestaltung ist dabei breit gefächert und kann von praktischen Trainingseinheiten in einer Gefahrensituation [BTG97] bis hin zu studentischen Lernumgebungen reichen [Zh04]. Während E-Learning Methoden bei überwiegend kognitiver Tätigkeit hierbei gut erforscht sind, mangelt es an Gestaltungsprinzipien in praktisch-motorischen Anwendungen. Bessere und einfachere, an die Situation angepasste Lehr- und Lernmethoden müssen gefunden werden, um ein individuell bestmögliches Ergebnis zu gewährleisten. Um dies zu sichern, muss die Lernförderlichkeit der verwendeten Methoden unter Betrachtung der kognitiven Prozesse des Lernenden untersucht werden. Der Grundsatz der Lernförderlichkeit zielt dabei darauf ab, mithilfe von Unterstützung und Anleitung über Gestaltungselemente des Mediums das Erlernen zu erleichtern [Sc08].

Ein wesentliches Kerncharakteristikum des Lernens stellt die Bildung von Schemata dar, die als organisierte Repräsentationen von Informationen im Langzeitgedächtnis beschrieben werden können [Ba32]. Ihre Funktion besteht in der Minimalisierung von Zeitaufwand und Kapazitätsverbrauch der mentalen Ressourcen [BJ72, RO77]. Die mentalen Ressourcen werden wiederum nach der Cognitive Load Theorie von verschiedenen Facetten der Lernsituation beansprucht [PM94, PRS03]. Während die

[1] TU Chemnitz, Psychologie digitaler Lernmedien, s.esmaeili.bijarsari@googlemail.com
[2] TU Chemnitz, Psychologie digitaler Lernmedien, maria.wirzberger@phil.tu-chemnitz.de
[3] TU Chemnitz, Psychologie digitaler Lernmedien, guenter-daniel.rey@phil.tu-chemnitz.de

doi:10.18420/in2017_228

intrinsische kognitive Beanspruchung (ICL) über inhärente Charakteristiken wie die Komplexität der Lernaufgabe, und die extrinsische Beanspruchung (ECL) über ihre Präsentation [Sw10] das Lernen behindern können, wirkt sich die germane kognitive Beanspruchung (GCL) auf den Schemaerwerb und die Automatisierung von Gedächtnisinhalten förderlich aus [Ka11]. Nach der Embodied Cognition Theorie muss weiterhin die Sensomotorik und Umwelt des Lernenden mit betrachtet werden [MC08], auf die über das sogenannte off-loading kognitive Beanspruchung übertragen werden kann [Wi02].

2 Methodik

2.1 Stichprobe

An der Studie nahmen N = 78 Probandinnen (M = 23.1 Jahre, SD = 3.5, Range: 18-33) teil, mit überwiegend deutschen Sprachkenntnisse auf Muttersprachniveau (n = 69) oder einer längeren Spracherfahrung (M = 10.0 Jahre, SD = 7.5). Die Teilnahme begrenzte sich auf Probandinnen, um eine Verzerrung durch geschlechterspezifische Differenzen in den räumlich-visuellen Fähigkeiten [LP85, VVB95] wie auch der Relevanzzuteilung von Farbcodierungen in der Gestaltung [BKJ04, DM01] vorzubeugen.

2.2 Studiendesign

Zur Untersuchung der Lernförderlichkeit im computerbasierten, praktischen Lehrbereich wurde eine computerbasierte Instruktion und das zugehörige Arbeitsumfeld über ein 2x2 Design basierend auf theoretischen Erkenntnissen der Cognitive Load Theory und des Embodied Cognition Ansatzes variiert. Als Lernaufgabe diente die Konstruktion zweier Lego Mindstorms EV3 Roboter.

Die Anleitung der Konstruktion unterschied sich einerseits im Ausmaß ihrer instruktionalen Unterstützung (abnehmende instruktionale Unterstützung vs. vollständige instruktionale Unterstützung). Das Lernen anhand von Instruktionen über in diesem Fall visuellen Angaben wie Pfeilen oder Bilder des Endproduktes, ist besonders für Lernende ohne Expertise eine Notwendigkeit. Das Prinzip der abehmenden instruktionalen Unterstützung (Guidance Fading) geht jedoch davon aus, dass ein Abnehmen der Hilfestellung bei Zunahme des Erfahrungslevels des Lernenden zu einem besseren Lernen bzw. stärkeren Schemakonstrukt führen kann [Re12]. Während Studien darauf hinweisen, dass generell eine graduelle Abnahme als Grundlage dieser Herangehensweise dienen sollte, bestehen Unstimmigkeiten über deren Art, Stärke und Varianz [Sa09, RA03]. Aus diesem Grund wurde für diese Studie nach der Hierarchical Task Analysis [An03] die Instruktion systematisch um logische Handlungsschritte bei sich wiederholenden Konstruktionsabschnitten reduziert. Diese Variation im Design sollte Resultate bezüglich der Schemakonstruktion und folglich Behaltens- wie auch Transferfähigkeit erbringen,

d.h. der Fähigkeit erlerntes Wissen abzurufen und der Fähigkeit, das Erlernte auf neue, unbekannte Konzepte anzuwenden. Zur besseren Nachverfolgung der Schemakonstruktion wurde eine konstante, auditiv-verbale Zweitaufgabe während der gesamten Konstruktionsphase ausgeführt. Im Abstand von 5s wurde ein hoher oder tiefer Klavierton kurz abgespielt, den die Probandinnen als solchen benennen mussten. Reaktionszeiten und Fehler über den Konstruktionsverlauf hinweg sollten dabei Rückschlüsse auf die aktuelle kognitive Auslastung im Arbeitsgedächtnis angeben [De96].

Die zweite Variation erfolgte über den Einsatz farblicher Codierung (Color Coding). So wurde das Material, wie in Abbildung 1 dargestellt, funktional in sechs verschiedene Schachteln eingeteilt, entweder farblich differenziert (sechs verschieden Farben) oder nicht differenziert (sechs Mal die gleiche Farbe). Das Color Coding sollte nach der Theorie der Embodied Cognition bzw. dem off-loading den Cognitive Load verringern.



Abb. 1: Variation des Color Coding. links: Computeranleitung mit farblicher Kodierung eines Funktionsteils; rechts: farblich kodierte Aufbewahrung des Materials

2.3 Material

Neben dem computerbasierten Manual als Anleitung zur Roboterkonstruktion sowie den Lego Mindstorms EV3 Roboterteilen, kamen verschiedene Tests und Fragebögen zum Einsatz. Die gesamte Studie fand am PC über eine selbst erstellte Website statt.

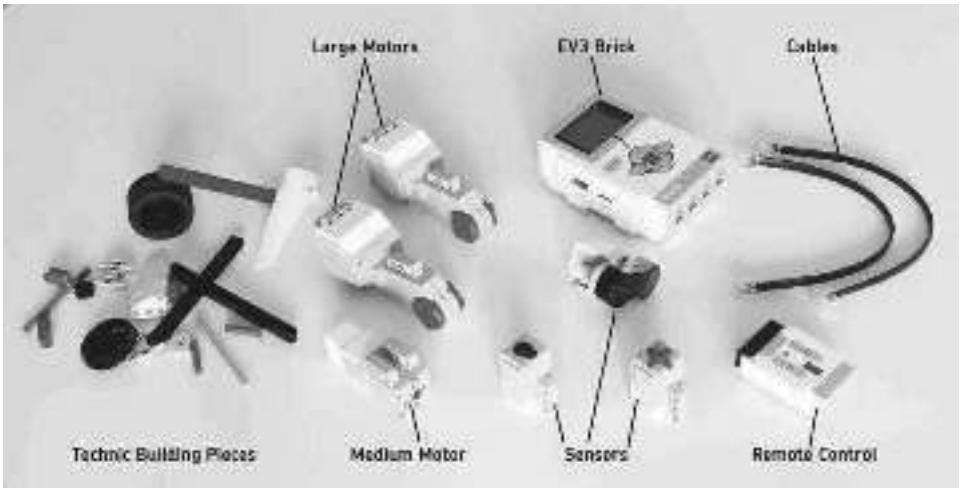


Abb. 2: Materialien eines Lego Mindstorms EV3 [Va15]

Wie in Abbildung 2 erkennbar ist, bestehen die Roboter aus mehreren Einzelteilen verschiedener Funktionalität, Motoren, Sensoren, Kabeln und den Bricks. Die Bricks stellen dabei den zentralen Computer und Programmkern dar. Anhand des Bricks kann der Roboter mit verschiedenen Handlungen programmiert werden und nur über einige Verknüpfung mit diesem können Motoren oder Sensoren funktionieren.

2.4 Durchführung

Nach der Begrüßung und Einleitung wurden Tests zum Ausschluss von Farbenblindheit [Is60] und der Prüfung mentaler Rotationsfähigkeiten [VK78] durchgeführt. Darauf folgte ein Fragebogen zur Demographie, ein Fragebogen zur Erfassung der Technikaffinität (TA-EG) [Ka09] und eine Abfrage der Vorerfahrung in der Arbeit mit Konstruktionen und Manualen. Wie in Abbildung 3 dargestellt, startete anschließend die Roboterkonstruktion mit einem kurzen Übungsteil und nachfolgend zwei zu konstruierenden Robotern. Beide Roboter waren nur in ihrem letzten Konstruktionselement der Sensorik unterscheidbar. Diese Differenz war damit begründet, dass die Probandinnen die Breite der Funktionalität der Materialien erkennen sollten. So konnte ein Roboter durch den Lichtsensor Linien nachfahren, der andere konnte durch den Drucksensor Blockaden erkennen und umfahren. Der Zusammenbau erfolgte immer mit der gleichzeitig ablaufenden auditiv-verbalen Zweitaufgabe und schloss nach jeder kompletten Konstruktion eines Roboters mit dem Cognitive Load Fragebogen nach Leppink ab [Le14]. Die Konstruktionen waren jeweils voneinander durch eine kurze Pause abgetrennt, in der die gebauten Roboter kurz getestet werden konnten. Nach Abschluss der Konstruktionsphase folgten Behaltens- und Transferaufgaben. Die Probandinnen mussten zwischen bekannten und unbekannten Materialien unterscheiden sowie diese nach ihrer Funktionalität den jeweiligen Schachteln bzw. Farben zu ordnen. Weiterhin mussten sie Abbildungen fertiger Konstrukte aus der

Konstruktionsphase auf Fehler untersuchen und einschätzen, ob neue, unbekannte Konstruktionen mit den in der Studie genutzten Materialien nachzubauen wären.



Abb. 3: Schematischer Ablauf einer Studiensitzung.

3 Programmierung

Der komplette Ablauf erfolgte am PC über eine Website im Localhost. Fragebögen, die Manuale wie auch der Ablauf der Zweitaufgabe und die Speicherung verschiedener Variablen in Logfiles mussten selbst erstellt werden. Dazu wurde u.a. das Programm Microsoft Expression Web 4 genutzt, und die Webseite überwiegend mit PHP 5.3 und grundlegenden HTML5 wie auch CSS 3 Elementen erstellt. Einige Elemente wie die Zweitaufgabe mussten über Javascript eingebunden werden, um deren konstanten Ablauf über die fortlaufenden Seiten zu gewährleisten. Die fertige Website wurde anhand eines über das XAMPP Control Panel simulierten Servers lokal gehostet. Dadurch konnten u.a. Ladezeiten umgangen werden. Standardisierte Tests wie der Mental Rotation Test [VK78] mussten exakt nach der Paper-Pencil Testvorlage gestaltet werden, da noch keine elektronische Vorlage existiert.

Ein weiteres programmierbares Element der Studie stellten die Lego Mindstorms EV3 Roboter dar. Zum Testen der fertiggestellten Roboter mussten die Bricks, also der programmierbare Microcomputer, vorab mit Handlungsprogrammen beschrieben worden sein. Dazu wurden über das Lego Mindstorms EV3 Home Edition Programm zwei verschiedene Handlungen für die Roboter codiert: der erste Roboter sollte vorwärts und um Kurven fahren können, während er über den Lichtsensor einer schwarzen Linie folgt und der zweite Roboter sollte über den Drucksensor auf Druck reagieren, in dem er zurückfährt, sich um ca. 45° dreht und dann einen neuen Weg entlang fährt. Weitere Elemente wie Geräusche und Geschwindigkeit konnten ebenfalls eingefügt werden, dienten aber lediglich eher als gestalterische Akzente. Das Lego Mindstorms EV3 Programm nutzt zur Programmierung das Baukasten-Prinzip, in dem Handlungsschritte oder -elemente in vordefinierten Blöcken zusammengefasst wurden. Dies setzt nur geringe

Programmierfähigkeiten voraus und erfordert vielmehr ein Verständnis über die richtige Nutzungsweise des programmeigenen Blocksystems. Diese vereinfachte Darstellung lässt sich mit der Zielgruppe der Lego Mindstorms Roboter erklären, welche sich überwiegend an Kinder und Jugendliche richtet und für diese als ein erster Schritt in die Programmier- und Informatikwelt verstanden werden kann.

4 Diskussion

Gerade im E-Learning Bereich sollte der Informatik mehr Gewicht gegeben werden, da dessen Grundlage auf der computergesteuerten Gestaltung von Lehr- und Lernmaterial basiert. Besonders die Erstellung von eigenen, lokal nutzbaren Webseiten könnte großen Nutzen in der Studiendurchführung mit sich bringen, da weitaus flexibler und mit wenig Einschränkungen, bis auf die eigenen Programmierfähigkeiten, Inhalte erstellt werden können. Weiterhin würden rechtliche Sorgen durch den Einsatz Copyright geschützter Materialien entfallen, da diese nicht mehr an Drittanbieter weitergeleitet und möglicherweise online abgespeichert werden, z.B. bei der Nutzung von Online-Portalen zur Fragebogen- und Testgestaltung. Der Gebrauch wie auch die Datenspeicherung findet streng lokal statt. Auch der Einsatz von Testmaterial sollte auf computerbasierter Ebene erfolgen, da damit nicht nur weitaus bessere Testbedingungen realisiert werden können, z.B. durch die ergonomisch anpassbare Anzeige, sondern auch eine sicherere Speicherung der Daten gewährleistet wird. Der möglichen Gefahrenquelle beim Übertragen der Testergebnisse vom Papierformat in die Auswertungsdatei würde somit entgegengewirkt werden.

Aktuell kann noch keine Aussage über die Ergebnisse der Studie getroffen werden, da diese erst kürzlich beendet wurde und eine Auswertung noch nicht stattfinden konnte. Trotzdem waren bereits während der Durchführung interessante Beobachtungen zu verzeichnen. So haben Probandinnen häufig den falschen Sensor ausgewählt, weil sie nur auf das Bild der Konstruktion, in dem dieser nicht gut erkennbar war, geachtet haben, nicht aber auf die Materialangabe. Nach eigenen Angaben konnten sie sich nicht an eine korrekte Darstellung des Sensors erinnern. Dies wirft die Frage auf, ob das Color Coding wirklich wahrgenommen wurde, wenn möglicherweise die Materialangabe eher als redundant angesehen und ignoriert wird. Einen weiteren Hinweis darauf lieferten manche Probandinnen, die sich an keine farbliche Unterscheidung hinsichtlich der Materialien und Schachteln erinnern konnten. Bezüglich des Guidance Fadings zeigten die Probandinnen bis auf einige Einzelfälle keine großen Probleme in der Konstruktion selbst, waren aber erkennbar verzögert in ihren Antworten zur Zweitaufgabe. Die Betrachtung der verzögerten Antwortzeiten, aber auch sprachlicher Beanspruchungsindikatoren über den gesamten Konstruktionsverlauf sollte interessante Erkenntnisse bezüglich der kognitiven Beanspruchung in praktisch-motorischen Lernszenarien erbringen.

Danksagung

Die vorgestellte Arbeit wurde im Rahmen des GRK 1780/1 mit freundlicher Unterstützung durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) realisiert.

Literaturverzeichnis

[An03] Annett, J.: Hierarchical Task Analysis. In The Handbook of Task Analysis for Human-Computer Interaction, 2003; S. 67.

[Ba32] Bartlett, F. C.: Remembering: An Experimental and Social Study. Cambridge University Press, Cambridge, MA, USA, 1932.

[BJ72] Bransford, J. D.; Johnson, M. K.: Contextual prerequisites for understanding. Some investigations of comprehension and recall. In Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior, 1972, 11; S. 717–726.

[BKJ04] Bimler, D. L.; Kirkland, J.; Jameson, K. A.: Quantifying variations in personal color spaces. Are there sex differences in color vision? In Color Research & Application, 2004, 29; S. 128–134.

[BTG97] Bliss, J. P.; Tidwell, P. D.; Guest, M. A.: The Effectiveness of Virtual Reality for Administering Spatial Navigation Training to Firefighters. In Presence: Teleoperators and Virtual Environments, 1997, 6; S. 73–86.

[De96] D'Esposito, M. et al.: Working memory impairments in multiple sclerosis. Evidence from a dual-task paradigm. In Neuropsychology, 1996, 10; S. 51–56.

[DM01] Dwyer, F. M.; Moore, D. M.: The effect of gender, field dependence and color-coding on student achievement of different educational objectives. In International Journal of Instructional Media, 2001, 28; S. 309.

[Is60] Ishihara, S.: Tests for colour-blindness. Kanehara Shuppan Company, 1960.

[Ka09] Karrer, K. et al.: Technikaffinität erfassen-der Fragebogen TA-EG. In Der Mensch im Mittelpunkt technischer Systeme, 2009, 8; S. 196–201.

[Ka11] Kalyuga, S.: Cognitive Load Theory. How Many Types of Load Does It Really Need? In Educational Psychology Review, 2011, 23; S. 1–19.

[Le14] Leppink, J. et al.: Effects of pairs of problems and examples on task performance and different types of cognitive load. In Learning and Instruction, 2014, 30; S. 32–42.

[LP85] Linn, M. C.; Petersen, A. C.: Emergence and Characterization of Sex Differences in Spatial Ability. A Meta-Analysis. In Child Development, 1985, 56; S. 1479.

[MC08] Mahon, B. Z.; Caramazza, A.: A critical look at the embodied cognition hypothesis and a new proposal for grounding conceptual content. In Journal of physiology, Paris, 2008, 102; S. 59–70.

[PM94] Paas, F.; van Merriënboer, J. J. G.: Instructional control of cognitive load in the training of complex cognitive tasks. In Educational Psychology Review, 1994, 6; S. 351–371.

[PRS03] Paas, F.; Renkl, A.; Sweller, J.: Cognitive Load Theory and Instructional Design. Recent Developments. In Educational Psychologist, 2003, 38; S. 1–4.

[RA03] Renkl, A.; Atkinson, R. K.: Structuring the Transition From Example Study to Problem Solving in Cognitive Skill Acquisition. A Cognitive Load Perspective. In Educational Psychologist, 2003, 38; S. 15–22.

[Re12] Reiser, R. A. et al.: Guidance-Fading Effect. In (Seel, N. M. Hrsg.): Encyclopedia of the sciences of learning. Springer, New York, 2012; S. 1400–1402.

[RO77] Rumelhart, D. E.; Ortony, A.: The representation of knowledge in memory. In (Anderson, R. C.; Spiro, R. J.; Montague, W. E., Hrsg.): Schooling and the acquisition of knowledge; S. 99–135. Lawrence Erlbaum Associates Inc, Hillsdale, NJ, 1977.

[Sa09] Salden, R. J. C. M. et al.: Worked examples and tutored problem solving: redundant or synergistic forms of support? In Topics in cognitive science, 2009, 1; S. 203–213.

[Sc08] Schneider, W.: Ergonomische Gestaltung von Benutzungsschnittstellen. Kommentar zur Grundsatznorm DIN EN ISO 9241-110. Beuth, Berlin, Wien, Zürich, 2008.

[Sw10] Sweller, J.: Element Interactivity and Intrinsic, Extraneous, and Germane Cognitive Load. In Educational Psychology Review, 2010, 22; S. 123–138.

[Va15] Valk, L.: The Lego Mindstorms EV3 discovery book. A beginner's guide to building and programming robots. No Starch Press, San Francisco, CA, 2015.

[VK78] Vandenberg, S. G.; Kuse, A. R.: Mental rotations, a group test of three-dimensional spatial visualization. In Perceptual and motor skills, 1978, 47; S. 599–604.

[VVB95] Voyer, D.; Voyer, S.; Bryden, M. P.: Magnitude of sex differences in spatial abilities. A meta-analysis and consideration of critical variables. In Psychological Bulletin, 1995, 117; S. 250–270.

[Wi02] Wilson, M.: Six views of embodied cognition. In Psychonomic Bulletin & Review, 2002, 9; S. 625–636.

[Zh04] Zhang, D. et al.: Can e-learning replace classroom learning? In Communications of the ACM, 2004, 47; S. 75–79.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 2287

Auswirkung systeminduzierter Delays auf die menschliche Gedächtnisleistung in einem virtuellen agentenbasierten Trainingssetting

Maria Wirzberger[1], René Schmidt[2], Günter Daniel Rey[3], Wolfram Hardt[4]

Abstract: Verzögerungen in der Reaktion technischer Systeme können neben negativen Auswirkungen auf das systembezogene Nutzererleben auch Einbußen in der kognitiven Leistungsfähigkeit zur Folge haben. Die vorliegende Arbeit untersucht derartige Effekte anhand eines dialoggestützten Gedächtnistrainings mit einem virtuellen Agenten. Basierend auf der systemseitig kontrollierten Implementierung definierter Verzögerungszeiten zeigten sich in einem experimentellen Wizard-of-Oz-Setting neben ungünstigen Effekten längerer Verzögerungen auch vermittelnde Einflüsse nutzerseitiger Charakteristika auf die beobachtete Gedächtnisleistung. Ausgehend von diesen Befunden werden abschließend mögliche Optimierungen und Anknüpfungspunkte für weitere Forschungsarbeiten diskutiert.

Keywords: Systemdelay; Dialogsystem; Wizard-of-Oz; Virtueller Agent; Gedächtnistraining

1 Motivation

Bezogen auf die Mensch-zu-Mensch Interaktion wurde die Rolle verzögerter Reaktionen im Dialogablauf bereits untersucht, im Kontext technischer Systeme ist sie jedoch eher wenig beforscht. Bei der Interaktion mit Sprachdialogsystemen können solche Verzögerungen verringerte Akzeptanz und erhöhte Frustration zur Folge haben. So schätzten bei[SH10] die Teilnehmenden ein um 600ms schneller reagierendes Dialogsystem als höflicher, effizienter und transparenter ein. Im Gegensatz dazu wurde bei [Hi99] das Dialogsystem mit sehr kurzer Antwortzeit (M = 0.37s) schlechter bewertet. Motiviert durch die widersprüchliche Befundlage, adressierte das vorliegende Projekt Effekte verzögerter Systemantwort im Rahmen eines dialoggestützten Gedächtnistrainings mit einem virtuellen Agenten. Während bestehende Arbeiten lediglich die subjektive Systembewertung erfragten, stand hier der Zusammenhang zwischen systemseitiger Verzögerung und kognitiver Leistungsfähigkeit unter Berücksichtigung vermittelnder nutzerseitiger Einflussfaktoren im Vordergrund. Das resultierende Testsetting stützte sich inhaltlich auf die Vermittlung der Loci-Methode

[1] TU Chemnitz, Psychologie digitaler Lernmedien, maria.wirzberger@phil.tu-chemnitz.de
[2] TU Chemnitz, Technische Informatik, rene.schmidt@informatik.tu-chemnitz.de
[3] TU Chemnitz, Psychologie digitaler Lernmedien, guenter.daniel-rey@phil.tu-chemnitz.de
[4] TU Chemnitz, Technische Informatik, wolfram.hardt@informatik.tu-chemnitz.de

doi:10.18420/in2017_229

[DBC85], einer etablierten Gedächtnistechnik, die auf die Verbesserung der Merkleistung durch die räumliche Verortung zu merkender Inhalte zielt. Wie für die Entwicklung und prototypische Erprobung von Sprachdialogsystemen charakteristisch, folgte die durchgeführte Nutzerstudie methodisch der Wizard-of-Oz Technik [Ke84], welche systemintendierte Interaktionshandlungen versuchsleitergesteuert simuliert.

2 Methodik

2.1 Experimentelle Nutzerstudie

Stichprobe: Die Prüfung des Systems erfolgte im Rahmen einer experimentellen Nutzerstudie mit $N = 35$ Versuchspersonen ($M = 24.0$ Jahre, $SD = 4.5$, Range: 19-38, $n = 19$ weiblich). Die Teilnehmenden verfügten mehrheitlich über deutsche Sprachkenntnisse auf Muttersprachniveau ($n = 29$), die übrigen nutzten die Sprache seit $M = 7.7$ Jahren ($SD = 4.5$) aktiv. In Bezug auf die vorherige Teilnahme an Gedächtnistrainings bestanden überwiegend keine Vorerfahrungen ($n = 33$) bzw. diese beschränkten sich im Falle der Teilnahme auf maximal zwei Gelegenheiten.

Studiendesign: Die Untersuchung des Einflusses systeminduzierter Delays auf die menschliche Gedächtnisleistung erfolgte über eine kontinuierliche experimentelle Variation der Delaylänge als unabhängiger Variable aus einem gleichverteilten Intervall zwischen 3000 und 8000 ms in Schritten von jeweils 500 ms. Als Delay wird dabei im Folgenden die Systemantwortzeit definiert als diejenige Zeitspanne, welche das System vom Ende der Aussage einer Versuchsperson bis zum Starten der daraufhin generierten Systemantwort benötigt. Die abhängige Variable der Gedächtnisleistung wurde ermittelt anhand des Anteils korrekt wiedergegebener Begriffe - ohne Berücksichtigung der Reihenfolge - in drei Testdurchgängen mit fünf, sieben und neun deutschen Substantiven [Sc11]. Zusätzlich wurde der Anteil korrekt wiedergegebener Begriffe während der drei Trainingsdurchgänge mit fünf, sieben und neun deutschen Substantiven aufgezeichnet. Ein Durchgang mit sieben Substantiven vor den Trainingsdurchgängen diente als Baseline zur Bestimmung der individuellen Merkfähigkeit.

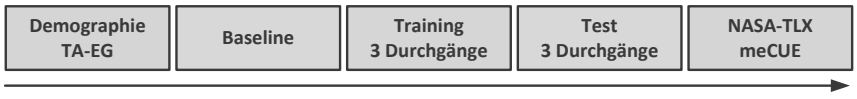


Abb. 1: Schematischer Ablauf der Versuchstermine. Blau = Fragebögen; Rot = Wortlisten ohne Agent; Grün = Wortlisten mit Agent.

Material & Ablauf: Jeder Versuchstermin begann mit der schriftlichen Aufklärung der Versuchsperson zum Inhalt und Ablauf der Datenerhebung und der Anonymität der Datenspeicherung und -analyse. Anschließend wurden zunächst demographische Kerndaten sowie die subjektiv eingeschätzte Technikaffinität mit Hilfe des TA-EG[5] [Ka09] erfasst.

[5] Subskalen: Begeisterung, Kompetenz, wahrgenommene positive Technikfolgen und wahrgenommene negative Technikfolgen

Wie in Abbildung 1 dargestellt, folgte darauf die Erhebung der individuellen Baseline der Merkfähigkeit. Dazu wurden nach entsprechender Anweisung sieben Substantive für jeweils 5000 ms mit einem Abstand von 200 ms schriftlich auf dem Bildschirm präsentiert und nach einem Punktsignal in der Bildschirmmitte sprachlich wiedergegeben. Abschließend erhielt die Versuchsperson eine neutrale Rückmeldung über ihre Leistung. Während der darauf folgenden, als Sprachdialog angelegten Trainingssequenz, wurde ein virtueller Agent mit einer Wohnzimmerszenerie genutzt, um die Versuchsperson über drei Durchgänge hinweg schrittweise in die Anwendung der Loci-Methode einzuführen. Als Agent wurde dabei der in Abbildung 2 rechts dargestellte Fuchs verwendet, welcher in der kommerziellen Mobilanwendung FaceRig[6] enthalten ist. Mit dieser lassen sich Videos anhand kamerabasierter Gesichtserkennung erstellen. Die Entscheidung für diesen spezifischen Agenten gründet in der technisch ausgereifteren Animationsfähigkeit im Vergleich zu alternativen, in der Anwendung verfügbaren Gestalten. Die ersten beiden Durchgänge basierten auf dem in Abbildung 2 links gezeigten gegenständlichen Bild eines Wohnzimmers[7], in welchem gezielt relevante Gegenstände hervorgehoben waren. Im ersten Durchgang erfolgte eine konkrete Anleitung des Agenten zum Einsatz der Gegenstände, z.B. "*Legen Sie das eingeblendete Wort an der Lampe ab*.", während die Zuordnung der zu merkenden Begriffe zu den Gegenständen im zweiten Durchgang durch die Versuchsperson selbst gesteuert wurde. Darauf aufbauend nutzte der dritte Durchgang eine nur noch schemenhaft erkennbare Abbildung eines Wohnzimmers mit der Instruktion, sich das eigene oder ein gut bekanntes Wohnzimmer vorzustellen und die zu merkenden Begriffe nacheinander an den dort vorhandenen Gegenständen abzulegen. Ziel dieses Transfers war die Ver-



Abb. 2: Schematische Darstellung des Trainingsszenarios mit Wohnzimmer und Agent im ersten und zweiten Durchgang.

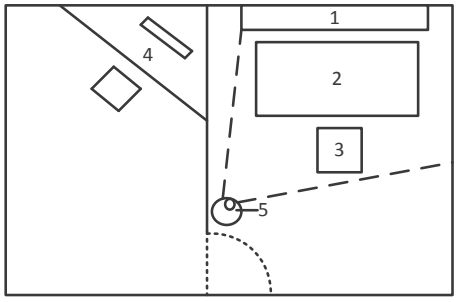
knüpfung der Gedächtnistechnik mit der eigenen Alltagswelt. Die zu merkenden Wörter wurden jeweils über dem Wohnzimmerbild eingeblendet und von der Versuchsperson im Anschluss verbal wiedergegeben. Der Agent erschien rechts davon während bzw. in der Bildschirmmitte zwischen den Trainingssequenzen. Der Trainingsaufbau folgte damit dem

[6] Verfügbar unter https://facerig.com/; Bildverwendung mit freundlicher Genehmigung des Unternehmens
[7] Wohnzimmerbild lizenzfrei verfügbar unter https://static.pexels.com/photos/77931/pexels-photo-77931.jpeg

Prinzip der abnehmenden instruktionalen Unterstützung (Guidance fading; [SAK11]) um eine stabilere Implementierung der Gedächtnistechnik zu ermöglichen. Charakteristisch für die Wizard-of-Oz Methodik, erfolgte sämtliche sprachliche Interaktion des Systems mit der Versuchsperson durch die Versuchsleitung, welche per Knopfdruck aus einem Set vordefinierter Antwortpfade die jeweils passende Dialogoption auswählte. Während der auf die Trainingsdurchgänge folgenden Testdurchgänge, gestaltete sich die Aufgabe der Versuchpersonen ähnlich zum dritten Durchgang des Trainings, allerdings ohne Präsenz des Agenten. Abschließend wurden die subjektiv eingeschätzte mentale Beanspruchung anhand des NASA-TLX[8] [HS88] erhoben, bei welchem in Anlehnung an [Pf91] auf den Einsatz der Paarvergleiche verzichtet wurde. Zusätzlich wurde die individuelle Bewertung nutzungsbezogener und emotionaler Qualitäten des Systems anhand des meCUE[9] [MR] erfasst. Den finalen Schritt jedes Versuchstermins bildete die Aufklärung der Versuchsperson über das spezifische Setting sowie die durch die Versuchsleitung gesteuerte Systeminteraktion.

2.2 Technisches Setup

Die Umsetzung des beschriebenen Szenarios ging mit spezifischen Voraussetzungen an die Lokalität sowie die softwaretechnische Umsetzung einher. Für die Lokalität wurden zwei benachbarte Räume gewählt, welche durch eine Tür miteinander verbunden waren (vgl. Abbildung 3). Hardwareseitig wurde als Visualisierungsmedium des agentenbasierten Trainingssystems ein Samsung Full HD TV gewählt mit einer Auflösung von 1080p, welcher mit einem Standard Windows 7 PC über HDMI verbunden wurde. Zur Erfassung der auditiven Signale der Versuchspersonen wurde eine Logitech QuickCam Pro 5000 mit 480p Auflösung genutzt, deren Audiosignale direkt auf ein Headset weitergeleitet wurden. Das Kamerabild wurde der Versuchsleitung zur visuellen Kontrolle des Versuchs bereit gestellt. Dies stellte sicher, dass die Versuchsleitung sowohl die Versuchsperson als auch den aktuellen Zustand des Agenten überwachen konnte, und unterstützte auf diese Weise die korrekte Reaktion auf die jeweiligen Aussagen.



1) Samsung Full HD TV
2) Tisch
3) Stuhl für Probanden
4) Arbeitsplatz des Versuchsleiters
5) Logitech QuickCam Pro 5000

Abb. 3: Schematische Darstellung des Versuchsaufbaus.

[8] Subskalen: Geistige Anforderungen, Körperliche Anforderungen, Zeitliche Anforderungen, Aufgabenausführung, Anstrengung und Frustration

[9] Subskalen: Nützlichkeit, Benutzbarkeit, visuelle Ästhetik, Status, Bindung, positive Emotionen, negative Emotionen, Nutzungsintention und Produktloyalität

Der Hauptfokus des Systems bestand darin, die intendierten Delays der Systemantwortzeiten durch eine speziell entwickelte Softwarelösung sicherzustellen. Grundidee der Implementierung stellte dabei die Repräsentation des Agenten in Form von Videos dar, welche mit beliebig langer Verzögerung aneinander gereiht werden konnten. Die Auswahl des nachfolgenden Videos wurde durch die Versuchsleitung über visuelle Schaltflächen am Bildschirm gesteuert. Zur exakten Einhaltung der Verzögerung diente ein Amplituden basierter Voice-Activation-Detector (VAD), welcher die verbalen Reaktionen der Versuchsperson überwachte und die Grundlage für die Zeitmessung bildete. Die genaue Beschreibung und Umsetzung des Softwareverhaltens basierte auf einem Automatengraphen, welcher in Abbildung 4 dargestellt ist. Dieser startete in einem definierten Startzustand, aus welchem heraus ein Zustandswechsel nur durch die Versuchsleitung erfolgen konnte, anhand der Aktivierung einer Schaltfläche im Bildschirmmenü. Mit diesem initialen Zustandswechsel wurde auch die Länge des Delays festgelegt, die anschließend für alle Systeminteraktionen verwendet wurde. Im nachfolgenden Zustand wartete das System auf die Ausgabe des VAD und wechselte, basierend auf der Detektion einer sprachlichen Interaktion der Versuchsperson, in den Zwischenzustand "WAIT FOR STOP" . Aus diesem Zwischenzustand heraus wurde nach Beendigung der Aussage der Versuchsperson in den darauf folgenden Wartezustand gewechselt und der Start der Delaymessung angestoßen. Während des Warte-

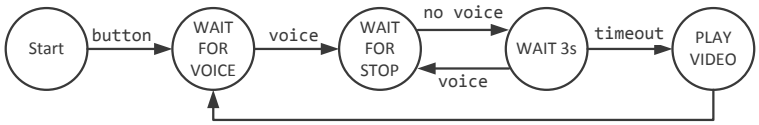


Abb. 4: Interner Ablauf der Softwareimplementierung zur Sicherstellung der Delaylänge.

zustands stand der Versuchsleitung die minimale Verzögerungslänge von drei Sekunden zur Verfügung, um die nachfolgende Aussage des Agenten aus den Möglichkeiten des logisch folgenden Dialogverlaufs auszuwählen. Erfolgte die Auswahl nicht innerhalb der verfügbaren Zeitspanne, wurde die standardisierte Antwort "*Ich habe Sie leider nicht verstanden.*" ausgegeben. Auf diese Weise konnte die Einhaltung der korrekten Systemantwortzeit auch im Falle fehlender Reaktionen der Versuchsleitung sichergestellt werden. Für den Fall einer Sprechpause der Versuchsperson wurde ein Wechsel in den vorhergehenden Zustand "WAIT FOR STOP" ermöglicht, um den unbeabsichtigten Start einer Delaymessung zu unterbrechen. Nachdem die Versuchsleitung eine Aussage gewählt hatte, musste vor dem Abspielen des Folgevideos zunächst die verbleibende Verzögerungszeit verstreichen. Nach erfolgreicher Wiedergabe des Videos wechselte das System wieder in den Zustand "WAIT FOR VOICE" und startete den beschriebenen Prozessablauf erneut.

3 Ergebnisse

Die inferenzstatistische Analyse der experimentell erhobenen Daten erfolgte anhand eines regressionsanalytischen Pfadmodells. Aufgrund technischer Probleme und daraus resultierender fehlender Werte mussten dabei fünf Datensätze ausgeschlossen werden. Wie aus

Abbildung 5 ersichtlich, umfasste das Pfadmodell neben dem Zusammenhang zwischen der Testleistung als abhängiger und der Länge des Delays als unabhängiger Variable eine Reihe nutzerbezogener Faktoren, welche diesen Zusammenhang potentiell beeinflussen. Konkret waren dies die individuelle Merkfähigkeit (Baseline), das Ausmaß an Technikaffinität, das Alter sowie die vorhandenen Sprachfertigkeiten (Deutsch als Muttersprache vs. Fremdsprache). Die genannten Variablen wurden als direkte Einflüssen auf die Testleistung wie auch als Moderatoreffekte auf den Delay in das Modell aufgenommen. Zusätzlich wurde der Einfluss des Delays während des Trainings und dessen Auswirkung auf die Testleistung durch einen Mediationseffekt berückichtigt.

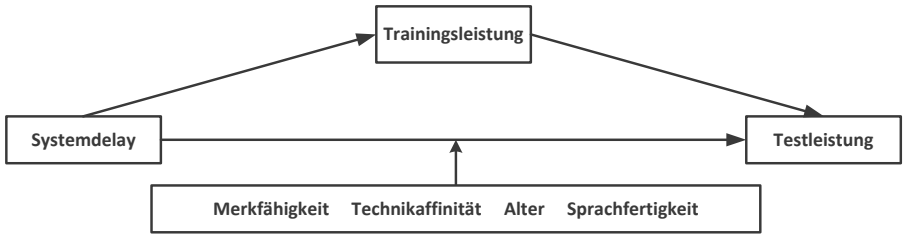


Abb. 5: Schematisches Modell des postulierten Zusammenhangs zwischen den erhobenen Variablen.

In Tabelle 1 sind die direkten Einflüsse des Delays sowie der nutzerbezogenen Faktoren auf die Testleistung in Form standardisierter β- Gewichte zusammengefasst. Dabei zeigt sich, dass die Testleistung mit steigendem Delay signifikant sinkt, während sich eine höhere Leistung während der Trainingsphase sowie eine erhöhte Technikaffinität hinsichtlich Begeisterung, wahrgenommener positiver und negativer Technikfolgen signifikant positiv auf die Testleistung auswirken.

Tab. 1: Direkte Effekte nutzer- und systembezogener Prädiktoren auf die Testleistung

Delay	Baseline	Training	Alter	Sprache	Begeisterung	Kompetenz	Positiv	Negativ
-.202*	.129	.354***	.258	-.121	.260*	-.024	.377*	.355***

*p < .05 **p < .01 ***p < .001. Sprache binär kodiert mit 0 = Muttersprache, 1 = Fremdsprache

Zusätzlich zeigen sich in Tabelle 2 signifikante positive Einflüsse der individuellen Merkfähigkeit und des Alters sowie signifikante negative Einflüsse der Sprachfertigkeit und der subjektiven Kompetenz im Umgang mit Technik auf den Zusammenhang zwischen Delaylänge und Testleistung. Im Detail deutet dies darauf hin, dass sich höhere Ausmaße individueller Merkfähigkeit sowie ein höheres Lebensalter kompensatorisch auf eine erhöhte Delaylänge auswirken. Des Weiteren scheinen längere Delays insbesondere die Leistung von Personen ohne deutsche Muttersprache und mit höherer selbsteingeschätzter Technikkompetenz zu beeinträchtigen. Generell deutet die Höhe der standardisierten β-Gewichte an dieser Stelle darauf hin, dass sich die kombinierte Betrachtung der nutzerseitigen Einflussfaktoren und des Delays deutlich stärker auf die Testleistung auswirken, als dies für die Delaylänge allein der Fall ist. Ein signifikanter Einfluss des Delays auf die Trainingsleistung zeigte

Tab. 2: Effekte nutzerbezogener Prädiktoren auf den Zusammenhang zwischen Delaylänge und Testleistung

Baseline	Alter	Sprache	Begeisterung	Kompetenz	Positiv	Negativ
.520***	.551**	-.466***	.252	-.363**	-.002	-.180

*p < .05 **p < .01 ***p < .001. Sprache binär kodiert mit 0 = Muttersprache, 1 = Fremdsprache

sich nicht und auch der angenommene Mediationseffekt auf die Testleistung erreichte keine Signifikanz. Insgesamt erzielte das Pfadmodell eine Varianzaufklärung von 80%. Darüber hinaus wurde anhand bivariater Korrelationen geprüft, ob sich die Länge des Delays signifikant auf die wahrgenommene Beanspruchung durch das Aufgabensetting (Skalen des NASA-TLX) sowie die nutzungsbezogene und emotionale Bewertung des System (Skalen des meCUE) auswirkt. Hier konnten jedoch ebenfalls keine signifikanten Zusammenhänge festgestellt werden.

4 Diskussion

Das Ziel des vorliegenden Settings bestand darin, den Einfluss der Länge systeminduzierter Delays auf die Gedächtnisleistung im Rahmen eines dialoggestützten Gedächtnistrainings mit einem virtuellen Agenten zu untersuchen. Trotz der kleinen Stichprobe zeigten sich, neben einer signifikanten Leistungsbeeinträchtigung durch längere Delays, signifikante Einflüsse system- und nutzerimmanenter Faktoren auf die Wirkung der Delaylänge, welche vielfältige Anknüpfungspunkte für weitere Forschung bieten. So lässt sich ausgehend vom Faktor Alter ein potentieller Forschungsfokus auf ein breiteres Altersspektrum definieren, der u.a. durch den Einbezug einer Seniorenstichprobe umgesetzt werden könnte. Hier bestünde eine mögliche Fragestellung beispielsweise darin, ob sich die scheinbar kompensatorische Wirkung steigenden Alters bei verlängerten Systemdelays auch in höheren Lebensjahren fortsetzt. Einen ebenfalls interessanten Befund bildet die scheinbar negative Wirkung höherer selbstberichteter Technikkompetenz im Zuge verlängerter Delays. Diese könnte möglicherweise daraus resultieren, dass Personen mit höherer Technikkompetenz präziser einschätzen können, welchen Delay aktuelle Systeme tatsächlich benötigen. Fällt dieser Delay nun höher aus als erwartet, ist die daraus resultierende Erwartungsdiskrepanz und Frustration deutlich höher als im Falle unspezifischer Erwartungen.

Neben einer größeren Stichprobe, mit welcher sich die abgeleiteten Überlegungen valider prüfen ließen, sollte eine Folgeuntersuchung gezielt Konfundierungen im experimentellen Setting adressieren. Konkret betrifft dies die Notwendigkeit geteilter Aufmerksamkeit zwischen auditiver und visueller Modalität, welche durch die visuelle Präsentation der Substantive am Bildschirm parallel zur sprachlichen Interaktion mit dem Agenten entstand. Ein verbessertes Setting würde derartige Effekte durch die Reduktion auf eine rein sprachliche Interaktion ohne visuelle Präsentation der Substantive vermeiden. Zusätzlich bestand ein weiterer möglicher Einflussfaktor in der Präsenz des verschwommenen Wohnzimmerbildes während der Testdurchgänge, welches als zusätzlicher, nicht-intendierter

retrieval cue [TO68] gewirkt haben könnte. Abschließend betrachtet bildet die vorgestellte Studie einen vielversprechenden Ansatzpunkt für die Erschließung des zukunftsweisenden Forschungsfeldes nutzeradaptiver Sprachdialogsysteme.

Danksagung

Die vorgestellte Arbeit wurde im Rahmen des GRK 1780/1 mit freundlicher Unterstützung durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) realisiert.

Literaturverzeichnis

[DBC85] De Beni, Rossana; Cornoldi, Cesare: Effects of the mnemotechnique of loci in the memorization of concrete words. Acta Psychologica, 60:11–24, 1985.

[Hi99] Hirasawa, Jun-ichi; Nakano, Mikio; Kawabata, Takeshi; Aikawa, Kiyoaki: Effects of system barge-in responses on user impressions. In: Sixth European Conference on Speech Communication and Technology, EUROSPEECH. 1999.

[HS88] Hart, Sandra G.; Staveland, Lowell E.: Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research. Advances in psychology, 52:139–183, 1988.

[Ka09] Karrer, Katja; Glaser, Charlotte; Clemens, Caroline; Bruder, Carmen: Technikaffinität erfassen–der Fragebogen TA-EG. In (Lichtenstein, Antje; Stößel, Christian; Clemens, Caroline, Hrsg.): Der Mensch im Mittelpunkt technischer Systeme. 8. Berliner Werkstatt Mensch-Maschine-Systeme. VDI Verlag, Düsseldorf, S. 196–201, 2009.

[Ke84] Kelley, John F.: An iterative design methodology for user-friendly natural language office information applications. ACM Transactions on Information Systems (TOIS), 2:26–41, 1984.

[MR] Minge, Michael; Riedel, Laura: meCUE-Ein modularer Fragebogen zur Erfassung des Nutzungserlebens. In (Boll, Susanne; Maaß, Susanne; Malaka, Rainer, Hrsg.): Mensch und Computer 2013: Interaktive Vielfalt. Oldenbourg Verlag, München, S. 89–98.

[Pf91] Pfendler, C: Vergleichende Bewertung der NASA-TLX-Skala und der ZEIS-Skala bei der Erfassung von Lernprozessen. Forschungsins. für Anthropotechnik, Forschungsges. für Angewandte Naturwissenschaften e.V., 1991.

[SAK11] Sweller, John; Ayres, Paul; Kalyuga, Slava: The guidance fading effect. In: Cognitive Load Theory, S. 171–182. Springer, New York, 2011.

[Sc11] Schrauf, Judith: Vom Konkreten im Abstrakten. Eine kognitionslinguistische Analyse zu Konkreta und Abstrakta. Dissertation, 2011.

[SH10] Skantze, Gabriel; Hjalmarsson, Anna: Towards incremental speech generation in dialogue systems. In: Proceedings of the 11th Annual Meeting of the Special Interest Group on Discourse and Dialogue. Association for Computational Linguistics, S. 1–8, 2010.

[TO68] Tulving, Endel; Osler, Shirley: Effectiveness of retrieval cues in memory for words. Journal of Experimental Psychology, 77:593–601, 1968.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 2295

Modellierung und Vorhersage von mentaler Arbeitsbeanspruchung in einem Fluglotsenaufgabenexperiment

Martina Truschzinski[1]

Abstract: Diese Veröffentlichung präsentiert die Ergebnisse einer dynamische Modellierung von Workload, welche auf der Basis von Pupillendaten eines psychologischen Experimentes entwickelt wurde. Es zeigt, wie kognitive Verarbeitungsprozesse mit Hilfe von mathematischen Funktionen innerhalb eines dynamischen Systems abgebildet und validiert werden können.

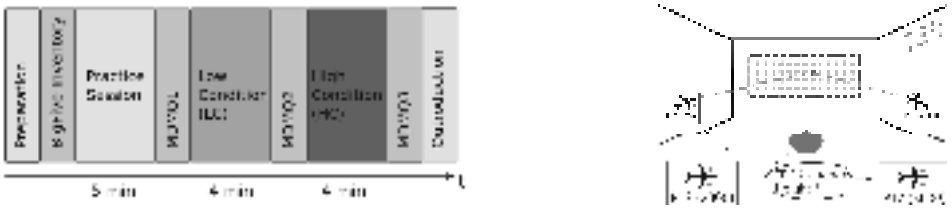
Keywords: Workload; Dynamisches System; Fluglotsenaufgabe; Pupillometrie

1 Motivation

Derzeitige Statistiken zeigen, dass der Flugverkehr und die zu transportierenden Fluggästeanzahl steigt und auch in den nächsten Jahren steigen wird [Bo17]. Um einen reibungslosen und sicheren Flugverkehr zu garantieren, sind Fluglotsen, welche den gesamten Flugraum tagtäglich überwachen, und deren mentale Verfassung von enormer Bedeutung. Aus diesem Grund beschäftigt sich das BMBF geförderte interdisziplinäre Projekt ¨StayCentered: Methodenbasis eines Assistenzsystems für Centerlotsen¨ (MACeLot) in Zusammenarbeit mit der Deutschen Flugsicherung mit der Untersuchung von grundlegenden Methoden und Verfahren, die für die Realisierung eines Assistenzsystems für Fluglotsen verwendet werden können.
Kognitive Aufgaben in einer Fluglotsentätigkeit, sind sehr komplexe und kognitiv belastende Aufgaben, weil sie sehr viele mentale Ressourcen benötigen [Mo95]. Dabei beeinflussen vor allem Faktoren wie Flugverkehrsaufkommen oder Frequenzüberlastungen die mentale Arbeitsbeanspruchung der Fluglotsen [Mo95]. Des Weiteren gilt im Allgemeinen, dass vor allem Faktoren, wie Schwierigkeitsgrad der Aufgabe und Zeitdruck der beim Lösen der Aufgabe entsteht, die mentale Arbeitsbeanspruchung maßgeblich verändern kann [GCM12]. Demzufolge kann eine Erhöhung des Schwierigkeitsgrades einer zu lösenden Aufgabe, zu einer Erhöhung der erforderlichen mentalen Ressourcen führen und daraus auch eine erhöhte mentale Arbeitsbeanspruchung entstehen. Eine solche entstandene mentale Arbeitsbeanspruchung kann aufgrund dessen, dass mentale Kapazitäten zur Informationsverarbeitung

[1] Technische Universität Chemnitz, Professur Prozessautomatisierung, Reichenhainerstr. 70, 09126 Chemnitz, Deutschland mtru@hrz.tu-chemnitz.de

doi:10.18420/in2017_230



(a) Prozedur des Experimentes.

(b) Schematische Darstellung der Flugrouten-Kommandos.

Abb. 1: Experimentalaufbau und Aufgabenstellung der Versuchspersonen.

beim Menschen begrenzt sind, anhand von verbrauchten oder noch vorhandenen mentalen Kapazitäten berechnet werden [GD86, Wi02].
Um die vorhandene mentale Beanspruchung während einer Aufgabe zu messen, wurde innerhalb des Projektes das Verfahren von Beatty und Lucero-Wagner verwendet. Diese entdeckten im Jahr 2000, dass nicht-reflexive phasische Pupillenbewegungen als Indikator für Gehirnprozesse gesehen werden können, da sie sich nachweislich bei dynamischen und beanspruchungsintensiven Aufgaben korrespondierend zum Schwierigkeitsgrad veränderten. Diese aufgabenbezogene Veränderungen der Pupille (TERPs), wurden in den folgenden Jahren von vielen Autoren zur Untersuchung kognitiver Funktionen verwendet [Ha10, Pa03].

2 Experiment

Mit Hilfe eines psychologisches Experimentes sollte anhand der aufgezeichneten Pupillendaten ein Workload-Modell erstellt werden, welche die mentale Arbeitsbeanspruchung in Fluglotsenaufgaben mathematische beschreiben und vorhersagen soll. Dafür wurde innerhalb des Projektes eine Simulation erstellt, welche es Novizen ermöglichte Flugzeuge auf einem Radar-ähnlichen Bildschirm zu steuern. An dem Experiment nahmen 25 Studenten an dem Experiment teil. Diese wurden auf dem Campusvorplatz der Universität Pompeu Fabra gesucht und nahmen freiwillig an der Untersuchung teil, (M_{Age} = 28.12; SD = 5.67, 64% männlich). Die Mehrheit der Befragten hatte keine Erfahrungen mit Fluglotsentätigkeiten, welche auch Computerspiele enthielten.

Experiment Design Das Experiment umfasste zwei verschieden Aufgabenschwierigkeiten, welches in intra-individuellen Prüfungsdesign über alle Versuchspersonen, ausgewertet wurde. Dabei war jedes Experiment in drei Phasen geteilt: der Übungsphase, in welcher die Versuchspersonen lernten die Flugzeuge auf dem Bildschirmen zu steuern, der ersten Phase, welche eine leichte Version der Fluglotsenaufgabe beinhaltete und der zweite Phase, welche die schwierige Version der Fluglotsenaufgabe beinhaltete (siehe Abb. 1(a)).
Um die von Beatty und Lucero-Wagner [BLW00] berichteten Vergrößerung der Pupille

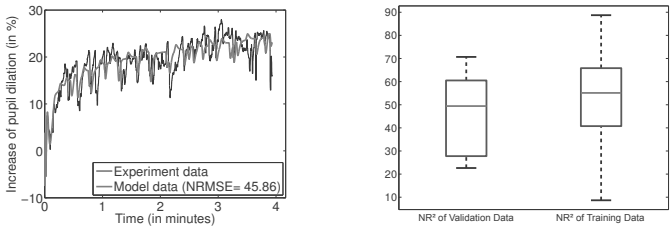
aufzuzeichnen, wurde während des gesamten Experimentes die Pupillenerweiterung mit einem mobilen Eye-Tracker von *Pupil Labs* mit einer Frequenz von 60 Hz aufgezeichnet.

Prozedur Das Experiment wurde in einem Virtual-Reality-Raum durchgeführt (XIM). Nachdem jede Versuchsperson die Einverständniserklärung zur Teilnahme an dem Experiment ausgefüllt hatte, wurde sie in den Virtual-Reality-Raum geführt. In einer kurzen Vorbereitungsphase wurde der Versuchsperson die Eye-Tracker-Brille aufgesetzt, der Persönlichkeitsfragebogen ausgefüllt und eine Erklärung zum Experiment gegeben. Danach startete eine Kalibrierungsphase, die sicher stellte, dass die Beleuchtungssituation während des gesamten Experimentes gleichbleibend war. Anschließend startete die Übungsphase, in welcher die Versuchsperson lernte die Flugzeuge auf den Bildschirm mit seiner Stimme zu steuern. Die Flugzeuge wurden – wie reale Fluglotsen – mit vordefinierten Kommandos gesteuert. Es gab dabei zwei verschiedene Möglichkeiten die Flugroute zu ändern zum einen konnte die Höhe der Flugzeuge geändert: entweder eine Erhöhung von 2000 auf 3000 oder eine Verringerung der Flughöhe von 3000 auf 2000. Zum anderen konnte die Flugrichtung um 45° gegen oder mit dem Uhrzeigersinn gewechselt werden. Die Versuchspersonen waren angehalten ihre Kommandos klar und deutlich in englische Sprache zu tätigen (siehe 1(b)). Der Experimentleiter/in gab anschließend mittels Tastatur – als simulierter Pilot – die gegebene Flugroutenänderung in das System ein und die Flugzeuge änderten ihren Flugweg. Die Übungssession endete, wenn die Versuchsperson 10 korrekte Flugroutenänderungen durchgeführt hatte.
Im Anschluss folgte das eigentliche Experiment, in welchem in einer statischen Reihenfolge eine leichte und schwere Aufgabe zu lösen waren. Der Schwierigkeitsgrad der Aufgabe wurde durch die Frequenz gesteuert, mit welcher die Flugzeuge auf dem Radar erschienen. Dabei erschienen die Flugzeuge paarweise, wobei in der leichten Aufgabe alle 4–8 Sekunden und in der schwierigen Aufgabe alle 1–5 Sekunden ein neues Flugzeugpaar am Rand des Bildschirmes auftauchte und in den für die Versuchspersonen verantwortlichen Flugbereich steuerte (grün umrandetes Rechteck in Abb. 1(b)). Das schnellere Erscheinen der Flugzeuge erzeugte in der schwierigen Aufgabe einen erhöhten Zeitdruck, der zum einen durch die höhere Anzahl wahrgenommener und mental verarbeiteter Flugzeuge entstand und zum anderen durch weitaus komplexere Flugsituation die einen erhöhten Bedarf an Flugroutenänderungen nach sich gezogen hat. Die Versuchspersonen hatten die Aufgabe, während des gesamten Experimentes, Kollisionen der Flugzeuge zu vermeiden indem sie die Flugrouten mit den in der Übungsaufgabe gelernten Kommandos veränderten. Eine solche fluglotsenähnliche Aufgabe ist insofern sehr anspruchsvoll, da die Darstellung der Höhe nur in einer 2,5D-Darstellung erfolgt. Diese Darstellung entsteht, weil die dritte Dimension, die Höhe, nur durch die Nummer in der Klammer unter den Flugzeugen (siehe Abb. 1(b)) dargestellt wurde. Aus diesem Grund war es möglich, dass zwei Flugzeuge visuell betrachtet kollidieren - das heißt auf dem selben Punkt auf dem Bildschirm erscheinen, aber aufgrund der unterschiedlichen Höhe lediglich übereinander hinweg flogen. Es musste also jeder Zeit eine mentale Repräsentation über die Höhen im Kopf behalten werden, damit eine reibungslose Flugzeugkoordination stattfinden konnte.

3 Workloadmodell

Die während des oben beschriebenen Experimentes aufgezeichneten Pupillendaten wurden anschließend für die Entwicklung eines mathematischen Modells verwendet. Hierzu mussten die Daten zunächst vor-verarbeitet werden. Hierzu wurden verschiedene Matlab-Funktionen, wie ein Medianfilter, benutzt. Dieser konnte aufgrund von fehlerhaften Daten nur auf 21 von 25 Datensätzen angewendet werden. Um das Modell aufzubauen und es anschließend zu validieren, wurden diese Datensätze in einen Modellierungsdatensatz - 16 Versuchspersonen - und einen Validierungsdatensatz - 5 Versuchspersonen - aufgeteilt. Diese Datensätze bildeten die Grundlage für die folgende Modellierung und Kreuzvalidierung des Models.
Die Hypothese, dass der unterschiedliche Schwierigkeitsgrad der beiden Experimentphasen zu einen unterschiedlichen Workload führt, welcher mit der Pupillengröße gemessen werden kann, konnte statistische nachgewiesen werden. Ein durchgeführter paarweiser t-Test zeigt, dass die mittlere Pupillenerweiterung in der schweren Aufgabe des Experimentes signifikant größer war als in der leichten Aufgabe ($t(219 = 3.73, p < .001, d = 0.83)$. Da dieser Unterschied auch ein Resultat der statischen Reihenfolge sein kann, wurde mit einem paarweisen t-Test auf Unterschiede der mittleren Pupillenerweiterung zu Beginn der Aufgaben getestet. Dafür wurde ein 1s-Fenster, in welchen die Versuchspersonen noch keine Flugzeuge sehen konnten, ausgewählt. Es zeigte sich hierbei kein signifikanter Unterschied in der Pupillengröße zu Beginn der leichten und schweren Aufgabe ($t(21) = -1.92, p > .05$). Dies zeigt, dass der gefundene Unterschied des Workloads in den zwei Aufgaben, wie vermutet, ein Resultat des unterschiedlichen Schwierigkeitsgrades der Aufgaben ist.
Die dynamische Modellierung baut auf diesen statistisch gefundenen Effekt auf. Dabei wurde auf der Grundlage der aufgezeichneten Pupillen-Daten mithilfe der Matlab System-Identification Toolbox eine mathematische Beschreibung des Zusammenhangs zwischen Aufgabe und gemessenen Workload/ Pupillengröße gesucht.

Modellbeschreibung In der Signaltheorie werden dynamisches Systeme unter anderen als Multiple-Input-Single-Output-Modell (MISO) beschrieben. Im Falle der in dem Experiment aufgezeichneten Daten bedeutete dies, dass die Pupillenerweiterung als Messparameter für den Workload der Output bzw. die Ausgangsgröße war. Diese Ausgangsgröße wurde durch verschiedene Aktionen oder Ereignisse der Aufgabe verändert. Aufgrund dessen wurden Ereignisse, wie Erscheinen von Flugzeugen auf dem Radar, Eingaben von Flugroutenänderungen, Auftreten von Kollisionen, als Eingaben innerhalb des Modells formuliert (für eine detaillierte Darstellung des Modells siehe [TW]).
Anhand der einzelnen Ereignisse wurden zunächst temporäre Veränderungen in der Pupillenerweiterung untersucht und diese als Grundlage für die mathematische Beschreibung der Pupillenerweiterung in der gesamten Aufgabe verwendet. Das Ergebnis des Modells ist in Abbildung dargestellt. Die rote Linie repräsentiert die Berechnung des Workloads vom Modell und die schwarze Linie die tatsächlich aufgezeichnete Pupillenerweiterung. Höhere Werte der Pupillengröße traten meistens innerhalb der gesprochenen Kommandos auf, da



(a) Vgl. Modell und reale Daten. (b) Vergleich des NR^2.

Abb. 2: Ergebnisse der Kreuzvalidierung des Modells.

hier wie vermutet die meisten mentalen Ressourcen zur Auflösung möglicher Kollisionssituationen benötigt wurden. In solchen Situationen musste die Versuchsperson die Flugroute der Flugzeuge vorausberechnen und entscheiden welches Flugzeuge wohin geleitet werden sollte. Verringerungen im Workload wurden zumeist nach Kollisionen verzeichnet. Dies war insofern überraschend, da eine Annahme war, dass nach einer Kollision die Versuchsperson über mögliche Ursachen die zu dieser Situation geführt hatte nachdenkt. Dies hätte zu einem Anstieg der mentalen Arbeitslast führen müssen. Doch im Gegensatz dazu, hatten die Versuchspersonen wenig oder gar keine Zeit darüber nachzudenken und es blieb nur der Effekt, dass nach einer Kollision weniger Flugzeuge auf dem Bildschirm waren und somit weniger Flugzeuge im Gedächtnis behalten werden mussten, welches wiederum zu einer Freigabe von mentalen Ressourcen führt und der zu verzeichnende Workload sinkt.

Kreuzvalidierung Um die Güte der mit Matlab gefundenen Beschreibung des Workloadmodells zu ermitteln wurde zunächst für jede Versuchsperson des Modellierungsdatensatzes eine Modellvorhersage getroffen und zwischen Modell und realen Daten der normalisierte Determinationskoeffizienten (NR^2) berechnet. Dieser gibt an wie viel Varianz in den Pupillendaten durch das vorliegendes dynamische Workloadmodell erklärt werden kann. Im Mittel liegt der NR^2 beim Modelldatensatz bei 49.42% und beim Validierungsdatensatz, welcher für das Modell komplett neue Datensätze enthält, liegt der NR^2 bei 55.10 %. Im Vergleich zu technischen Systemen, ist der so berechnete Prognosefehler des Modells relativ hoch, allerdings ist zu beachten dass das Modell nur anhand der verzeichneten Ereignisse eine Berechnung des Workloads tätigen kann. Alle anderen Denkprozesse, die kein Kommando oder Kollision zur Folge hatten, kann das Modell nicht abbilden, da es keinen Zugriff darauf hat. Aus diesem Grund stellt ein Modell dieser Güte einen guten Fortschritt für die Untersuchung von Workloadprozessen dar. Allerdings zeigt es auch, dass bisher noch unerklärte Prozesse die Pupillengröße bzw. den Workload verändern, welche im weiteren Forschungsarbeiten untersucht werden sollten.

4 Fazit

Das in dieser Veröffentlichung vorgestellte dynamische Modell für die Modellierung und Vorhersage von Workload wurde anhand einer Simulation von Fluglotsentätigkeiten mit Novizen erstellt und getestet. Sowohl die Modellierung als auch die vorangegangene statistische Analyse bestätigte die Hypothese, dass eine Erhöhung des Schwierigkeitsgrades einen erhöhten Workload zur Folge hat. Mit Hilfe von aufgezeichneten Ereignissen, wie Kollisionen und Flugroutenkommandos, konnte ein mathematisches Modell erstellt werden, welches diese Erhöhung des Workloads innerhalb der Aufgabe vorhersagen und beschreiben kann. Dabei zeigte die Kreuzvalidierung, dass 49,4 – 55 % der Varianz aufgeklärt wurde. In der Betrachtung der Entwicklung des Workloads innerhalb der einzelnen Versuchspersonen zeigte sich, dass der Zusammenhang zwischen Workload und Schwierigkeit über die Zeit allerdings nicht linear sondern logarithmisch ansteigt. Diese Erkenntnis ist insofern für weitere statistische Analysen hilfreich, als dass das gewählte Analyseverfahren angepasst bzw. die entsprechenden Daten vorher entsprechend vor-verarbeitet werden können. Des Weiteren bestätigt die Analyse des Modells die von Beatty und Lucero-Wagoner getroffene Aussage, dass visuelle Stimuli TERPs hervorrufen. Allerdings bedeuten diese im Detail, nicht immer eine Erhöhung der mentalen Arbeitsbeanspruchung, wie in Beatty und Lucero-Wagoner (2000) dargestellt, vielmehr kann ein visueller Stimuli auch eine Verminderung der mentalen Arbeitsbeanspruchung hervorrufen, wie in dem Beispiel der Kollisionen gezeigt.

Literaturverzeichnis

[BLW00] Beatty, J.; Lucero-Wagoner, B.: The pupillary system. In (Cacioppo, John T.; Tassinary, Louis G.; Berntson, Gary G., Hrsg.): Handbool of Psychophysiology. Cambridge University Press, Cambridge, 2nd. Auflage, 2000.

[Bo17] Estimated annual growth rates for passenger and cargo air traffic from 2016 to 2035, by region. In Statista - The Statistics Portal.

[GCM12] Galy, E.; Cariou, M.; Mélan, C.: What is the relationship between mental workload factors and cognitive load types? International Journal of Psychophysiology, 83:269–275, 2012.

[GD86] Gopher, D.; Donchin, E.: Workload - An examination of the concept. In (Boff, K. R.; Kaufmann, L.; Thomas, J. P., Hrsg.): Handbook of Perception and Human Performance. Vol. II. Cognitive Processes and Performance. Wiley & Sons, New York, 1986.

[Ha10] Haapalainen, E.; Kim, S.; Forlizzi, J. F.; Dey, A. K.: Psycho-Physiological Measures for Assessing Cognitive Load. Copenhagen, 2010.

[Mo95] Mogford, R. H.; Guttman, J. A.; Morrow, S. L.; Kopardekar, P.: The Complexity Construct in Air Traffic Control: A Review and Synthesis of the Literature. DTIC Document, 1995.

[Pa03] Paas, F.; Tuovinen, J. E.; Tabbers, H.; Van Gerven, P. W. M.: Cognitive Load Measurement as a Means to Advance Cognitive Load Theory. Educational Psychologist, 38(1), 2003.

[TW] Truschzinski, M.; Wirzberger, M.: A dynamic process model for predicting workload in an air traffic controller task. (in press).

[Wi02] Wickens, C. D.: Multiple resources and performance prediction. Theoretical Issues in Ergonomics Science, 3:159–177, 2002.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 2301

Abbildung kognitiver Fähigkeiten mit Metamodellen

Robin Hirt[1] und Niklas Kühl[2]

Abstract: Die Abbildung kognitiver Fähigkeiten in der Informatik erfreut sich im Rahmen von Forschungsbestrebungen in den Bereichen der künstlichen Intelligenz, des maschinellen Lernens und der Mensch-Maschine-Interaktion gesteigerter Popularität. In diesem Beitrag zeigen wir die Möglichkeiten von Metamodellen auf, um kognitive Fähigkeiten mit maschinellem Lernen nachzubilden. Dafür präsentieren wir drei unterschiedliche Klassifizierungsmodelle, die jeweils verschiedene Perspektiven – analog zu menschlichen Sinnen – mit einbeziehen und zeigen, wie sich die Klassifizierung durch eine kognitive Aggregation mit Metamodellen dieser Perspektiven von 70% (reine Textklassifizierung) auf über 80% (Metaklassifizierung) nach F_1-Metrik verbessert. Metamodelle können daher eine gute Grundlage für das Abbilden kognitiver Fähigkeiten sein und in Zukunft eine vielversprechende Erweiterung von einschichtigen maschinellen Lernverfahren darstellen.

Keywords: Kognition, Meta-Lernen, Maschinelles Lernen, Künstliche Intelligenz

1 Motivation

Das Nachbilden menschenähnlicher Intelligenz ist ein wichtiges Teilgebiet der Informatik [Ko99]. Nach Modha et al. [Mo11] beschreibt der Term *Cognitive Computing* Verfahren, welche versuchen das menschliche Denken als solches nachzuahmen. Wang [Wa03] definiert *Kognitive Informatik* als multidisziplinären Zweig der Informatik, welcher sich mit den Verarbeitungsmechanismen natürlicher Intelligenz beschäftigt. Unabhängig von der genauen Definition umfasst kognitive Verarbeitung einen breiten Forschungsbereich und reicht von der Nachbildung neuronaler Modelle [Ca13] bis hin zur Erstellung mehrschichtiger Rahmenwerke, welche das Imitieren von menschlichem Lernen ermöglichen sollen [CDI06]. In jedem Fall stellen kognitive Berechnungsverfahren ein vielversprechendes, interdisziplinäres Forschungsfeld dar, welches großes Potenzial besitzt [Yi09]. Alle Ansätze zu kognitiver Verarbeitung sind in der Lage zu lernen, d.h. Informationen in einer Form zu speichern und wieder abzurufen sowie mehrschichtige Zusammenhänge zu erkennen.

Obwohl kognitive Verarbeitung ein vielversprechendes Forschungsfeld ist, sind kognitive Ansätze oft stark auf einen bestimmten Sachverhalt angepasst und schwer transferierbar. Chella et al. [CDI06] beschreiben ein Verfahren, welches es Robotern erlaubt auf Basis von

[1] Karlsruhe Institute of Technology (KIT), Karlsruhe Service Research Institute (KSRI), Kaiserstr. 89, 76133 Karlsruhe, Germany, hirt@kit.edu
[2] Karlsruhe Institute of Technology (KIT), Karlsruhe Service Research Institute (KSRI), Kaiserstr. 89, 76133 Karlsruhe, Germany, kuehl@kit.edu

doi:10.18420/in2017_231

Imitation Bewegungsabläufe zu lernen. Andere Verfahren nutzen kognitive Verarbeitung um im medizinischen Kontext grafische Ergebnisse verschiedener Untersuchungen zu kombinieren [OTO06]. Der Forschungszweig der multimodalen Fusion beschäftigt sich mit mehrschichtigen Auswertung von Multimediadaten.

Hierbei wird beispielsweise das Video getrennt von der Tonspur analysiert und die Analyseergebnisse anschließend gesamtheitlich zu verarbeiten [At10, KBMM08]. In diesem Beitrag stellen wir ein generisches und flexibles kognitives Verfahren vor, welches auf der Basis von Metamodellen, konkret Ensemble-Algorithmen [TD03], *verschiedene* Informationsquellen vereint. Wir testen den Ansatz, um deutsche Twitternutzer hinsichtlich ihres Geschlechts automatisiert zu klassifizieren. Als Basis dienen dafür drei Submodelle, die verschiedene Datenquellen betrachten sowie ein Metamodell, welches diese vereint.

2 Methodik

Wir unterscheiden zwischen drei Modellen, welche menschliche ”Eindrücke” nachbilden sollen und einem übergeordneten Metamodell, welches diese kombiniert. Dabei bauen wir ein kognitives Metamodell, welches aus verschiedenen, so genannten Submodellen, Resultate kombiniert und eine übergeordnete Einschätzung vollzieht (vgl. Abbildung 1). Grundlage für dieses kognitive Modell muss daher ein Zusammenhang sein, welcher in drei

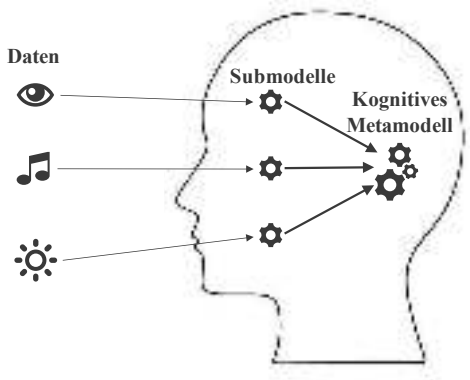


Abb. 1: Kognitive Fähigkeiten durch die Zusammenführung von Submodellen in einem Metamodell

verschiedenen Formen einen zusammenhängen Sachverhalt offenbart. Konkreter benötigen wir drei verschiedenartige Datenpools, welche wir getrennt hinsichtlich einer gemeinsamen Zielvariable mittels Submodellen analysieren. Die Ergebnisse dieser Analysen werden dann durch das Metamodell zusammengefasst und ein übergreifendes Analysergebnis berechnet. Als Ausgangsproblem unserer Analysen betrachten wir die Prädiktion des

Geschlechts von Twitter Nutzern[3] anhand des öffentlich verfügbaren Nutzerprofils. Hierbei beziehen wir drei Quellen mit ein: Das Nutzerbild, die geschriebenen Tweets und den Namen des Nutzers. Im Folgenden erläutern wir zunächst die einzelnen Submodelle, welche die genannten Quellen analysieren. Daraufhin beschreiben wir den Aufbau des Metamodells, welches die kognitive Funktion nachahmen soll und die Ergebnisse der Submodelle entgegennimmt und automatisiert lernt, in welchen Fällen welches Modell die Vorhersage präzisieren kann. Für die Modellbildung nutzen wir unter anderem Verfahren, welche auf überwachtem maschinellem Lernen basieren. Daher benötigen wir Profile von Twitternutzern, von denen wir das Geschlecht bereits kennen. Um dies zu ermöglichen, sammeln wir zufällig die Profile von deutschsprachigen Twitternutzern und lassen diese von einem unabhängigen Wissenschaftler nach männlich, weiblich oder unbekannt klassifizieren. Profile von Organisationen, Bots oder ähnlichem fallen hierbei in die Kategorie ”unbekannt”. Insgesamt sammeln wir so 2912 Profile von denen 1342 als ”männlich” und 1125 als ”weiblich” gekennzeichnet sind.

Um das Geschlecht eines Nutzers anhand der geschriebenen Tweets zu ermitteln, wenden wir überwachtes maschinelles Lernen an, indem wir ein Modell mit klassifizierten Daten trainieren und auf ungesehenen, ebenfalls klassifizierten Daten testen. Hierbei wenden wir ein ähnliches Verfahren wie Burger et al. [Bu11b] an: Zunächst analysieren wir automatisiert die Syntax der Tweets durch Verfahren aus der natürlichen Sprachverarbeitung (z.B. Worthäufigkeiten oder Satzzeichennutzung) und betrachten zusätzlich die Nutzung von Hashtags, Hyperlinks und Smilies. Anschließend wird der bearbeitete Text mittels Stemming [Lo68] weiter transformiert und nachfolgend in eine Vektordarstellung gebracht. Nun wird das maschinelle Modell trainiert und durch eine 10-fache Kreuzvalidierung [St77] validiert. Um einerseits mehr Informationen über den Schreibstil des Nutzers zu erhalten und andererseits die Berechnungsdauer zu minimieren, haben wir mit einem Vortest festgestellt, dass jeweils 50 Tweets des Nutzers pro Klassifizierungsdurchlauf betrachtet werden sollten. Weiterhin bietet die Vorverarbeitung (Kombination von Verfahren) und die Modellbildung (Modelalgorithmus und Parameter) viele Möglichkeiten zur Gestaltung, welche wir mit einer Grid-Search optimieren [HCL08, SLA12]. Wir testen Algorithmen aus drei verschiedenen Gruppen [MST94]: Bayes (Gaussian Naïve Bayes, Bernoulli Naïve Bayes), Support Vector (Linear SVC, SVC) und baum-basiert (Random Forest). Zusätzlich testen wir Ensemble Algorithmen (Adaboost, Bagging), welche verschiedene Algorithmen kombinieren (Stochastic Gradient Descent) [Zh05]. Das textbasierte Submodell gibt dabei eine Klassifizierung (männlich oder weiblich) und eine Konfidenz – wie sicher sich das Submodell ist – aus und an das Metamodell weiter.

Auch der Name eines Nutzers kann Aufschluss über das Geschlecht geben. Während manche Nutzer hierdurch sehr gut klassifiziert werden können, zeigen andere Nutzerprofile lediglich eine Variation des eigenen Namens, ein Pseudonym oder gar einen irreführenden Namen an. Ziel der Namensanalyse ist es, mittels einer Datenbank, welche Namen zu

[3] Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird auf die gleichzeitige Verwendung männlicher und weiblicher Sprachformen verzichtet. Sämtliche Personenbezeichnungen gelten gleichwohl für beide Geschlechter.

einem oder mehreren Geschlechten zuordnet[4], das Geschlecht eines Nutzers herauszufinden. Hierfür betrachten wir den ”Screen Name” und den ”Display Name” eines Twitter Nutzers, welches im Profil angezeigt wird – z.B. ”@John_Doe1978” (Screen Name) und ”John Doe” (Display Name). Zunächst werden beide Namen von Zahlen und Sonderzeichen befreit und Namensbestandteile werden identifiziert. Anschließend suchen wir in der Datenbank nach gleichen Namen. Wird kein identischer Name gefunden, nutzen wir die Levenshtein Distanz [Le66, Na01] um ähnliche Namen zu identifizieren. Zuletzt identifizieren wir das wahrscheinlichste Geschlecht. Auch das namensbasierte Submodell gibt eine Klassifizierung und eine Konfidenz aus und an das Metamodell weiter.

Auch das Nutzerbild kann ein Indiz für das Geschlecht eines Nutzers darstellen. Es wäre hier ebenfalls möglich – analog der Textvorhersage – ein eigenes überwachtes Lernmodell auf Basis von Nutzerbildern zu erstellen. Um die Flexibilität dieses Metamodellansatzes zu veranschaulichen, nutzen wir den kommerziellen Service IBM Watson Visual Recognition API [IB16], welcher auf Portraits von Menschen trainiert wurde. Wir senden die Nutzerbilder an den Web Service und bekommen das Geschlecht des Nutzers als Antwort zurück. Diese Antwort beinhaltet, wie bei den anderen beiden Submodellen, eine Klassifizierung und eine Konfidenz, welche wir an das Metamodell weiterreichen.

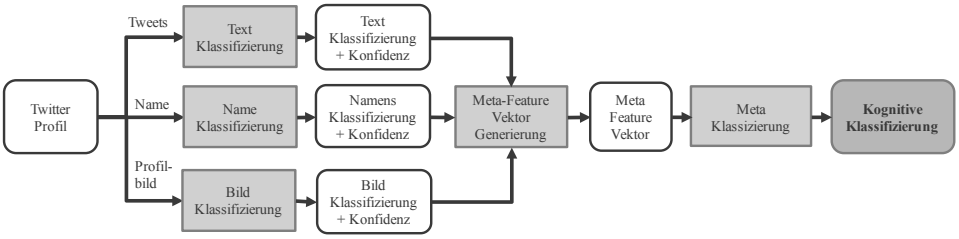


Abb. 2: Übersicht über Funktionsweise des kognitiven Metamodells

Schließlich bilden wir das Metamodell, welches nun die Ausgaben aller Submodelle in einer übergeordneten Sicht bewertet und eine gesamtheitliche Vorhersage des Geschlechts ausgibt. Wir wandeln die Ausgaben (Klassifizierung und Konfidenz) der Submodelle in einen Vektor um und nutzen diese als Eingabe für das Metamodell. Auch hier verwenden wir eine Kreuzvalidierung und Grid-Search um den besten Algorithmus und Parameterkombination für das Metamodell zu finden. Dabei stellen wir mit einer Sonderform der Kreuzvalidierung sicher, dass Training und Testsets getrennt sind und keine Instanz, trotz Unterteilung in Sub- und Metamodell in beiden Sets vorhanden ist. In Abbildung 2 zeigen wir den Prozess einer Klassifizierung anhand der drei Submodelle und dem finalen kognitiven Metamodell. Um den Nutzen des Metamodells zu verdeutlichen, testen wir zunächst einzelne Submodele, die Kombination von textbasiertem und namensbasiertem Submodell und schließlich alle drei Submodelle vereint.

[4] namedict.txt von https://heise.de/ct, softlink 0717182 by Jörg Michael, zuletzt aufgerufen am 05.05.2017

3 Ergebnisse

Zur Messung der Qualität der Modelle berechnen wir jeweils den F_1-Wert als harmonische Abwägung zwischen Precision und Recall [Va79]. Für das textbasierte Modell erreichen wir einen F_1-Wert von 69,79%. Das namensbasierte Modell erreicht einen F_1-Wert von 69,06% und das bildbasierte Modell einen vergleichsweise schlechten F_1-Wert von 25,37%. Betrachtet man nun das Ergebnis des Metamodells, welches auf Basis des Textmodells und

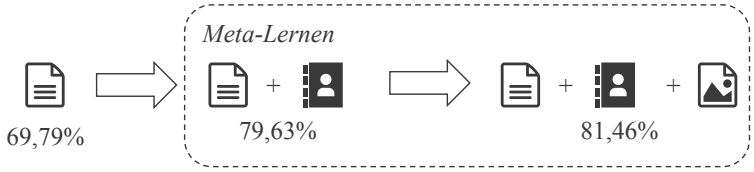


Abb. 3: Verbesserung des F_1-Werts durch Miteinbeziehen weiterer Perspektiven in ein kognitives Metamodell

des Namensmodells trainiert wird, so kann mit einem F_1-Wert von 79,85% eine signifikante Modellverbesserung von 14,10 % (F_1) zu dem besten unterliegenden Modell festgestellt werden. Dieser Wert wird durch das Metamodell mit allen drei Submodellen sogar um 16,72% (F_1) mit einem F_1-Wert von 81,46% übertroffen. In Abbildung 3 veranschaulichen wir die Verbesserung des Models durch die Kombination und die Zuhilfenahme mehrerer Quellen.

4 Fazit

Im Rahmen dieses Artikels haben wir die Möglichkeit von kognitiven Metamodellen für das Klassifizieren von deutschsprachigen Twitter Nutzern getestet. Dabei wird deutlich, dass mit zusätzlichen Submodellen (Text, Name, Profilbild) das Metamodell immer bessere Vorhersagen treffen kann – analog einem Menschen, der mit mehreren Sinnen beispielsweise eine gesteigerte Fähigkeit zu Überleben vorweist [Bu11a].

Die Forschungsarbeit hat einige Einschränkungen, so wurden die maschinellen Lernmodelle beispielsweise mit nur vergleichsweise wenig (2912) Daten trainiert. Ebenfalls wurde ein sehr spezifisches Beispiel – die Geschlechtererkennung auf Twitter – betrachtet. Es könnte weitere Fälle geben, in denen zusätzliche Sinne gegebenenfalls das Metamodell verschlechtern.

Ob dies der Fall ist, werden zukünftige Forschungsarbeiten mit anderen Fallbeispielen zeigen. Grundsätzlich scheint das Nachbilden kognitiver Fähigkeiten mit Metamodellen jedoch ein vielversprechender Ansatz zu sein, der in Zukunft weiter im Rahmen des Forschungsfeldes *Cognitive Computing* untersucht werden sollte.

Literaturverzeichnis

[At10] Atrey, Pradeep K.; Hossain, M. Anwar; El Saddik, Abdulmotaleb; Kankanhalli, Mohan S.: Multimodal fusion for multimedia analysis: a survey. Multimedia Systems, 16(6):345–379, 2010.

[Bu11a] Buchanan, Allen: Better than human: the promise and perils of enhancing ourselves. OUP USA, 2011.

[Bu11b] Burger, John D; Henderson, John; Kim, George; Zarrella, Guido: Discriminating Gender on Twitter. Association for Computational Linguistics, 146:1301–1309, 2011.

[Ca13] Cassidy, Andrew S.; Merolla, Paul; Arthur, John V.; Esser, Steve K.; Jackson, Bryan; Alvarez-Icaza, Rodrigo; Datta, Pallab; Sawada, Jun; Wong, Theodore M.; Feldman, Vitaly; Amir, Arnon; Rubin, Daniel Ben Dayan; Akopyan, Filipp; McQuinn, Emmett; Risk, William P.; Modha, Dharmendra S.: Cognitive computing building block: A versatile and efficient digital neuron model for neurosynaptic cores. Proceedings of the International Joint Conference on Neural Networks, 2013.

[CDI06] Chella, A.; Dindo, H.; Infantino, I.: A cognitive framework for imitation learning. Robotics and Autonomous Systems, 54(5):403–408, 2006.

[HCL08] Hsu, Chih-wei; Chang, Chih-Chung; Lin, Chih-Jen: A Practical Guide to Support Vector Classifcation. Bioinformatics, 1(1):1–15, 2008.

[IB16] IBM: , Watson Visual Recognition service, 2016.

[KBMM08] Kludas, Jana; Bruno, Eric; Marchand-Maillet, Stéphane: Information Fusion in Multimedia Information Retrieval. In (Boujemaa, Nozha; Detyniecki, Marcin; Nürnberger, Andreas, Hrsg.): Adaptive Multimedia Retrieval: Retrieval, User, and Semantics: 5th International Workshop, AMR 2007, Paris, France, July 5-6, 2007 Revised Selected Papers. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, S. 147–159, 2008.

[Ko99] Konar, Amit: Artificial intelligence and soft computing: behavioral and cognitive modeling of the human brain. CRC press, 1999.

[Le66] Levenshtein, Vladimir I.: Binary codes capable of correcting deletions, insertions, and reversals. Soviet Physics Doklady, 10(8):707–710, 1966.

[Lo68] Lovins, Julie Beth: Development of a stemming algorithm. Mechanical Translation and Computational Linguistics, 11(June):22–31, 1968.

[Mo11] Modha, Dharmendra S.; Ananthanarayanan, Rajagopal; Esser, Steven K.; Ndirango, Anthony; Sherbondy, Anthony J.; Singh, Raghavendra: Cognitive computing. Communications of the ACM, 54(8):62, 2011.

[MST94] Michie, Editors D; Spiegelhalter, D J; Taylor, C C: Machine Learning , Neural and Statistical Classification. Technometrics, 37(4):459, 1994.

[Na01] Navarro, Gonzalo: A guided tour to approximate string matching. ACM Computing Surveys, 33(1):31–88, 2001.

[OTO06] Ogiela, Lidia; Tadeusiewicz, Ryszard; Ogiela, Marek R.: Cognitive computing in intelligent medical pattern recognition systems. In: Lecture Notes in Control and Information Sciences. Jgg. 344, S. 851–856, 2006.

[SLA12] Snoek, Jasper; Larochelle, Hugo; Adams, Ryan P: Practical Bayesian Optimization of Machine Learning Algorithms. Adv. Neural Inf. Process. Syst. 25, S. 1–9, 2012.

[St77] Stone, M: Asymptotics For and Against Cross-Validation. Biometrika, 64(1):29–35, 1977.

[TD03] Todorovski, Ljupco; Džeroski, Sašo: Combining classifiers with meta decision trees. Machine Learning, 50(3):223–249, 2003.

[Va79] Van Rijsbergen, C J: Information Retrieval. Butterworths & Co, 1979.

[Wa03] Wang, Yingxu: On Cognitive Informatics. Brain and Mind, 4(2):151–167, 2003.

[Yi09] Yingxu Wang, University of Calgary, Canada Jean-Claude Latombe, Stanford University, USA Du Zhang, California State University, Sacramento, USA Witold Kinsner, University of Manitoba, Canada: Advances in Cognitive Informatics and Cognitive Computing:. International Journal of Cognitive Informatics and Natural Intelligence, 3(4):91–95, 2009.

[Zh05] Zhou, GuoDong; Shen, Dan; Zhang, Jie; Su, Jian; Tan, SoonHeng: Recognition of protein/gene names from text using an ensemble of classifiers. BMC bioinformatics, 6(1):1, 2005.

Qualitative und quantitative Ansätze in der UsabilityForschung

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 2311

Qualitative und quantitative Ansätze in der Usability-Forschung

Ingmar Rothe[1], Benedikt Etzold[2]

Der Erkenntnisgewinn empirischer Evaluationsstudien ist unumstritten. Sie liefern forschungsbasierte Grundlagen für Annahmen im Designprozess, sie helfen, die Lücke zwischen Präferenzen von Entwicklern einerseits und realen Nutzern andererseits zu verkleinern. Das gilt sowohl für quantitative als auch für qualitative Forschungsansätze. Letztere liefern insbesondere Werkzeuge für das Design von ‚in the wild'-Studien, die oft (nicht ganz zu Unrecht) wegen des hohen damit verbundenen Aufwands nicht durchgeführt werden.

Das DFG-Graduiertenkolleg CrossWorlds (Fördernummer 1780/1) hat den Multitouch-Tabletop Comfortable entwickelt, der inzwischen als fester Bestandteil der Dauerausstellung im Industriemuseum Chemnitz beheimatet ist und jeden Tag zahlreiche echte Nutzer anzieht. Dieser Kontext bietet die Möglichkeit, „in the wild"-Studien relativ komfortabel zu organisieren und mit verschiedenen Anwendungen und Iterationsstufen durchzuführen. Gleichzeitig sind durch das variable Interface „klassische" Usability-Studien mit verschiedenen Foci möglich.

Der Workshop „Qualitative und quantitative Ansätze in der Usability-Forschung" präsentiert Methoden, Erfahrungen und Ergebnisse in Form von Impulsvorträgen. Er bietet den teilnehmenden WissenschaftlerInnen mit ähnlichen Forschungsinteressen die Möglichkeit, methodische Ansätze zur Diskussion zu stellen, andere Aspekte ihres Arbeitsbereichs kennenzulernen und Methodenwissen zu teilen. Der Bogen spannt sich von Fokussierter Ethnografie und multimodaler Interaktionsforschung über Mixed-Methods-Ansätze bis hin zu klassischen User-Experience-Assessments, Online-Surveys und User-Testing-Szenarien. Im Zeichen dieser forschungspraktischen Ausrichtung erlaubt eine Exkursion ins Industriemuseum den direkten Zugang zu verschiedenen Erhebungsdesigns und den unmittelbaren Erfahrungsaustausch im Feld. Die Beobachtungen und Ansätze werden in einem abschließenden Panel nochmals strukturiert gesammelt, diskutiert und zugespitzt; besonderes Augenmerk liegt auf der Entwicklung neuer Perspektiven für zukünftige Forschungsvorhaben.

[1] Technische Universität Chemnitz, Professur Medienkommunikation, Graduiertenkolleg „CrossWorlds", Straße der Nationen 62, 09111 Chemnitz, ingmar.rothe@phil.tu-chemnitz.de
[2] Technische Universität Chemnitz, Professur Medieninformatik, Graduiertenkolleg „CrossWorlds", Straße der Nationen 62, 09111 Chemnitz, benedikt.etzold@informatik.tu-chemnitz.de

doi:10.18420/in2017_232

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 2313

„Would the real ethnography please stand up?!“ – Kritik der empirizistischen Ethnografie

Andreas Bischof[1]

Abstract: Ethnografische Methoden gehören längst zum Methoden-Repertoire der HCI-Forschung. Zielstellung, Umfang und Qualität ihrer Durchführung variieren allerdings stark. Der Beitrag rekapituliert aus soziologischer Perspektive den methodologischen Kern ethnografischer Verfahren, um die prinzipielle Funktionsweise der Ethnografie darzulegen. Daran anschließend werden die methodologischen Konsequenzen der Verwendung ethnografischer Verfahren in der HCI diskutiert. Dabei wird eine kritische Position gegenüber Ethnografien in der HCI eingenommen, die auf einer deskriptiven Ebene Nutzerpraktiken beschreiben, ohne eine analytische Perspektive anzulegen. Abschließend wird mit der „fokussierten Ethnografie“ ein methodischer Ansatz präsentiert, der den Bedingungen und Bedürfnissen von Systementwicklung entgegenkommt und gleichzeitig dem methodologischen Kern des Verfahrensrahmens gerecht wird.

Keywords: Ethnografie, fokussierte Ethnografie, Methoden, Methodologie, Epistemologie.

1 Einleitung

Ethnografie und ethnografische Verfahren werden seit Ende der 1980er Jahre im Kontext von Human-Computer Interaction (HCI) und Systementwicklung angewendet. Insbesondere aus dem Feld der Computer Supported Collaborative Work (CSCW) sind wichtige methodische Impulse zum Einsatz von Ethnografie in der HCI hervorgegangen. Ethnografie wurde hier zunächst eingesetzt, um Gemeinschaften von Nutzerinnen und Nutzern zunächst im Kontext von Arbeit („workplace studies“ [Su87]), später auch in Schulen, Wohnungen, ‚virtuellen Welten‘ oder öffentlichen Orten wie Museen [St15] zu erforschen. Mittlerweile wird Ethnografie in der HCI überall dort herangezogen, wo die Forschenden daran interessiert sind, Systemanforderungen und Nutzerbedürfnisse in bestimmten Kontexten zu verstehen [La17].

Allerdings weisen HCI-Studien unter dem Label „Ethnografie“ teilweise sehr unterschiedliche Zielstellungen und konkrete Vorgehen auf. Aus soziologischer Sicht ist dabei vor allem auffällig, dass Ethnografie häufig für *eine* Methode gehalten wird. Das ist in doppelter Hinsicht problematisch. Zum einen ist Ethnografie vielmehr eine grundlegende methodologische Ausrichtung, die unterschiedliche methodische Schritte der Produktion und Auswertung von Daten umfasst. Zum anderen geht mit der vereinfachenden Gleichsetzung von Ethnografie mit teilnehmender Beobachtung eine Abschwächung ihrer interpretativen Analyseeinstellung einher. Ethnografie besteht nicht nur

[1] Technische Universität Chemnitz, Professur Medieninformatik, Nachwuchsforschergruppe „Miteinander“, Straße der Nationen 62, 09111 Chemnitz, andreas.bischof@informatik.tu-chemnitz.de

doi:10.18420/in2017_233

darin, ‚spannende' qualitative Daten in Alltagssituationen zu erheben. Ethnografie ist ein analytischer Rahmen, der vor allem die Perspektivierung des Wissens und Erlebens der Forschenden als Teil der Auswertung dieser Daten umfasst.

Der vorliegende Beitrag will deshalb keine neuen Anwendungen oder methodische Varianten von Ethnografie in der HCI vorstellen, sondern diskutieren, worin der methodologische Kern ethnografischer Verfahren besteht, um zu fragen, wie Ethnografie in der HCI angewendet werden sollte. Im Folgenden soll deshalb die methodologische Grundlage ethnografischer Verfahren als spezifische Analyseeinstellung herausgearbeitet werden (2.). Anschließend werden die daraus abgeleiteten Implikationen für den Einsatz von Ethnografie in der HCI kritisch diskutiert (3.). Abschließend wird mit der „fokussierten Ethnografie" eine Methode vorgestellt, die sich für den Einsatz in der HCI besonders eignet und die den dargelegten methodologischen Grundlagen ethnografischer Verfahren dennoch gerecht wird (4.).

2 Ethnografie als Analyseeinstellung

Das grundlegende Erhebungsmittel der Ethnografie ist die *teilnehmende Beobachtung* an sozialen Praktiken, die dem Erleben und Erkennen von Logiken und Bedingungen eines sozialen Feldes, seiner Strukturen und Relevanzen dient [Pr14: 39ff.]. Ethnografie schließt neben der teilnehmenden Beobachtung weitere Erhebungsformen wie Interviews, bzw. Gespräche, physische Material- oder Dokumentensammlungen ein. In ihrer ursprünglichen, ethnologischen Form diente die Ethnografie so als umfassende Bestandaufnahme einer ‚fremden' Kultur, in deren Verlauf die Forschenden für mindestens zwölf Monate Teil einer beforschten Gemeinschaft wurden.

An diesem Goldstandard der ethnologischen Ethnografie deutet sich das spezifische Verhältnis der Forschenden zum Forschungsfeld in der Ethnografie an: Ethnografen und Ethnografinnen arbeiten in einem Wechsel aus Teilnahme und „Distanznahme" zum Feld [Ka03]. Um die Eigenlogik von Gruppen, sozialen Feldern oder Praktiken zu verstehen, müssen die Forschenden eine spezifische analytische Haltung einnehmen. Diese ethnografische Analyseeinstellung lässt sich auf die Leitdifferenz von Fremdheit und Vertrautheit zuspitzen. Ethnografien müssen in der Lage sein, einen ‚fremden' Blick auf die zu erforschenden Praktiken und Verhältnisse einzunehmen. Bei den ethnologischen Wurzeln der Ethnografie in der Beforschung ferner Südsee-Gesellschaften war diese Fremdheit gewissermaßen kulturell gegeben – wenn auch nicht frei von Rassismen und Missverständnissen. In Alltagswelten, die den Forschenden nicht prinzipiell fremd sind, wie es für die meisten Forschungsfelder der HCI gilt, muss ein gewisser Abstand methodisch aktiv hergestellt werden. Dieses „Othering" [Am97: 17] besteht vor allem im Problematisieren des Selbstverständlichen: Die Regeln der Herstellung und Funktionsweise von kleinen sozialen Welten sind ihren Bewohnern selbstverständlich und implizit – was der Ethnograf und die Ethnografin aber nicht unhinterfragt übernehmen darf. Diese ‚sozialen Verkehrsregeln' lassen sich nur entdecken, wenn sie befremdet werden. Das ge-

lingt u.A. indem man sich fragt, was es in einer beobachteten braucht, um dieses vermeintlich Selbstverständliche in Kraft zu setzen (z.B. unsichtbare Hierarchien, feine Zeichen der Abstimmung, symbolische Bedeutung von Gesten oder Gegenständen). Die Analyseeinstellung der Ethnografie erfordert, dass das den Praktiken zugrundeliegende Implizite expliziert wird. Die teilnehmende Beobachtung im Feld muss immer wieder mit dieser Aufarbeitung und (Selbst-)Befragung und daraus resultierenden neuen Erhebungen kombiniert werden.

Eine gelingende Ethnografie besteht also nicht nur darin, dass Forschende ‚vor Ort' an Praktiken partizipieren. Zur Ethnografie gehört im selben Maße dieses Erleben, und den Prozess seines Verstehens (bzw. auch Nicht-Verstehens) zu dokumentieren und methodisch kontrolliert zu analysieren. Dies erfordert eine Dynamik von Inklusion und Exklusion in einem Forschungsfeld. Das betrifft einerseits den Grad der Teilnahme und Empathie für die Subjekte der Forschung, der aber nicht zu einem unreflektierten ‚Aufgehen' im Feld führen darf („going native" [Pr14: 44-49]). Die Beforschten dürfen also weder als von der Anwesenheit der Forschenden unberührte Probanden verstanden werden, noch geht es darum ihre Perspektive unhinterfragt zu übernehmen. Ein methodisches Schlüsselmoment an der *ethnografischen Erfahrung* [Am97: 28] besteht deswegen auch im regelmäßigen Zurückziehen aus dem Feld. Durch die Arbeit an den Protokollen und das *Explizieren des Erlebten*, z.B. in Interpretationsgruppen oder Vorträgen, wird die oben erwähnte Distanz zum Gegenstand aufbaut [ebd.]. Dabei sind Irritationen des Verstehens ein besonders geeigneter Startpunkt, um Relevanzen und Strukturen des untersuchten Feldes zu analysieren und methodisch kontrolliert fruchtbar zu machen.[2]

An diesen methodologischen Grundlagen wird deutlich, dass Ethnografen und Ethnografinnen keine neutralen Berichterstatter sind. Eine Abbild-Theorie zwischen dem untersuchten sozialen Feld und den Ergebnissen einer Ethnografie ist wissenschaftstheoretisch naiv. Das häufig angesprochene Problem einer möglichen Verzerrung der Daten durch die Forschenden verkennt deshalb auch das methodische Instrument der Ethnografie: Der Forschende liefert keinen stellvertretenden Text für die objektiven Eigenschaften des beforschten Feldes. Eine Ethnografie einzusetzen, um „Nutzerbedürfnisse" quasi direkt aus der Wirklichkeit zu extrahieren wäre deshalb weder ein praktikables Ziel noch eine gute methodische Wahl (vgl. 3.1). Die Repräsentation und Erklärung der beobachteten Zusammenhänge entsteht vielmehr erst mit den interpretativen Auswertungsschritten, die vom Schreiben von Feldprotokollen, über das gemeinsame Interpretieren bis hin zum verfertigten ethnografischen Text reichen [Ka03: 88]. Die Aufzeichnungen aus der teilnehmenden Beobachtung – egal ob handschriftliche Notizen oder Videoaufnahmen – geben soziale Wirklichkeit nicht direkt wieder, sondern bestehen bereits in Selektionen und Strukturierungsleistungen der Forschenden und der Beforschten. Das so Dokumentierte, das ethnografische Beobachten und das Verstehen müssen anschließend in der Analyse thematisiert und wieder aufeinander bezogen werden [Ka03: 78]. Der ethnografische Beobachter muss die sozialen Ereignisse also nachträglich, unter Explikation

[2] Zur sequenziellen Analyse von Beobachtungsprotokollen und der Rolle von Irritation siehe z.B. [Pr14: 212ff., 283ff.] und [Ro14: 108ff.]

seines Vorwissens, zum Sprechen bringen:

> „Das Ziel der Ethnografie besteht darin, die Stimme und das Handeln, das diskursiv verfügbare und das stumme Wissen, soziale Praktiken und ihre Implikationen sowie die Bedeutungen dieses Handelns und Sprechens zu Papier zu bringen und in der schriftlichen Re-Präsentation der anderen Kultur die Position des Beobachters zweiter (oder gar dritter) Ordnung einzunehmen." [Ka03: 86]

Die Instrumente der Ethnografie sind also nicht nur die teilnehmende Beobachtung und andere Formen der Datensammlung im Feld. Die Ethnografie als Analyseeinstellung beruht vielmehr auf den Erkenntnismitteln des Fremdverstehens, die auch auf das eigene Verstehen angewandt werden müssen. Die Forschungspraxis gliedert sich in eine Beobachtung erster Ordnung im Feld, auf die die ethnografisch-soziologische Analyse folgen muss, in der – durch verschiedene Schreib- und Reflexionspraktiken – eine „Beobachtung zweiter Ordnung" [Lu91, Sc02] eingenommen wird. Mit dem Begriff „Beobachtung zweiter Ordnung" ist eine reflexive Einordnung gemeint, die die Bedingungen der vorausgehenden Beobachtung „erster Ordnung" sichtbar macht, und damit auch ihre eigenen blinden Flecken kennzeichnet.

3 Implikationen der Verwendung von Ethnografie in HCI

Genau in diesem Punkt besteht eine wesentliche Schwäche von Anwendungen ethnografischer Verfahren in der HCI: Sie reflektieren ihren eigenen Standpunkt, ihre Absichten, Annahmen und die sozialtheoretischen Implikationen der verwendeten Konzepte nicht ausreichend mit. Die Konzentration auf Nutzerbedürfnisse und Systemanforderungen unterläuft den dargelegten methodologischen Rahmen in zwei Punkten, die einer adäquate Anwendung von Ethnografie in der HCI entgegenstehen: Zum einen unterscheiden sich die Analyseeinstellungen von solchen „Designethnografien" wesentlich vom Ziel ethnografischer Verfahren in den Sozialwissenschaften (3.1). Zum anderen gibt es eine wesentliche Differenz in der Verwendung der Mittel, insbesondere in der Analyse (3.2). Im Rückgriff auf kritische Methoden-Literatur aus der HCI sollen diese beiden Punkte nun diskutiert werden.

3.1 Methodologisch: empirizistische vs. analytische Ethnografie

Ethnografie ist ein attraktiver methodologischer Rahmen, um Forschungsfragen in der HCI zu bearbeiten. Praktiken und Verhaltensweisen von Verwenderinnen und Verwendern lassen sich durch ethnografische Verfahren in ihrer alltagsweltlichen Einbettung beobachten, und die Erfahrungen und Beobachtungen der Forschenden als Ressource nutzen. Parallel zur sozialwissenschaftlichen Ethnografie liegt die Stärke der Ethnografie in der HCI darin, Zusammenhänge von Praktiken zu entdecken, die man ohne die Teilnahme daran nicht (oder nicht so schnell) verstehen würde [Am97: 8]. Allerdings liegt

der Fokus von „Designethnografien“ in der HCI eher auf einer *Beschreibung* der empirisch erfassten sozialen Welt, statt auf einer analytischen Verdichtung. Anstatt also eine Erklärung dafür zu liefern, *wie* die beobachten Handlungszusammenhänge hergestellt und stabilisiert werden, gibt sich die Ethnografie in der HCI zu oft schon mit der Sammlung und Wiedergabe kursorischer oder exotischer ‚Geschichten aus dem Feld‘ zufrieden, die anschließend von den jeweiligen Autorinnen und Autoren zum Anlass von Reflexion genommen werden [Cr09: 887].

Diese empirizistische Art der Ethnografie hat durchaus ihre Berechtigung im Sammeln von Eindrücken und Schlaglichtern aus dem Feld. Sie unterläuft aber den dargelegten analytischen Anspruch der Ethnografie und verliert damit auch einen Großteil ihrer Validität. Das Problem besteht darin, dass die Suche nach Implikationen für das Design von Systemen zu einer deskriptiven Analyseeinstellung verleitet [Do06: 548]. Diese kann zwar beschreiben, was Menschen und Computersysteme in einem bestimmten Kontext tun, sie kontrolliert dabei aber nicht die die Kategorien, die bereits vor dem Feldkontakt gesetzt wurden: Designer, Nutzer, Technik und Praxis werden dabei oftmals von vornherein als separate Ebenen oder Entitäten konzipiert. Wie sich schon am Begriff „Nutzer“ zeigt, geht damit auch immer eine Fokussierung des Erkenntnisinteresses, bspw. auf „Nutzen“, einher. Es ist aber die explizite Aufgabe einer Ethnografie, solche Kategorien aus dem Feld heraus zu entwickeln, bzw. gezielt zu befremden – Das geschieht in der Anwendung in der HCI leider viel zu selten.

Eine analytische Ethnografie, wie z.B. das Konzept der „situated action“, stellt solche Grenzziehungen und Kategorien in Frage, indem es nach den Momenten der Vermittlung und Irritation solcher eindeutigen Zurechnungen in der Praxis sucht. Hierbei wird sichtbar, wie und welche Vermittlungen durch Mensch-Computer-Interaktion in konkreten Settings wirksam werden [Cr09: 881]. Durch das Einnehmen einer Perspektive zweiter Ordnung wird ergebnisoffen untersucht, welche Aktivitäten und Handlungen der Beteiligten ein beobachtbares Phänomen überhaupt erst konstituieren – oftmals entgegen den ursprünglichen Annahmen der Forschenden. Suchmans Studie zu einem Expertensystem für Selbstbedienungs-Kopierer ist ein sehr illustratives Beispiel dafür: Indem sie sowohl von den ursprünglichen Annahmen der Konstrukteure als auch der Nutzer absah und stattdessen protokollierte, welche Praktiken an der Maschine durchgeführt bzw. on ihr ausgeführt wurden, konnte sie rekonstruieren, welche Situationszuschreibungen an der Mensch-Maschine-Schnittstelle tatsächlich wirksam wurden [Su87]. Was die Nutze rmit ihren Handlungen verknüpften, wie sie die Anzeige der Maschine interpretierten und was die Konstrukteure annahmen, dass die Nutzer interpretieren würden differierte dabei erheblich. Besonders plastisch illustriert das ein Videoausschnitt, in dem Ron Kaplan und Turing-Preisträger Alan Newell daran scheitern, eine Dokument zweiseitig zu kopieren [Ma14] – Zwei Nutzer, denen man nur schlecht ihre informationstechnische Kompetenz absprechen kann. Hätte sie die Kategorien der Entwicklerinnen und Entwickler (z.B. im Hinblick auf unterstelltes Verstehen seitens der Nutzerinnen und Nutzer) in ihrem Forschungsdesign einfach fortgeschrieben, hätte ihre Ethnografie keine konstruktiven Einsichten offenbart.

Ethnografie in einer analytischen statt einer emprizistischen Einstellung liefert also mehr als eine ‚Fotografie' einer kleinen sozialen Welt, sondern eine Theorie, ein explanatorisches Modell, um zu verstehen, wieso dieser Ausschnitt sozialer Wirklichkeit so funktioniert, wie er funktioniert. Ethnografie hat das Potential, HCI-Forschung auf einer sehr viel grundlegenderen Ebene, wie etwa der Forschungsfrage oder der Forschungsstrategie, zu beeinflussen, als bloß auf der Sammlung von „design oppurtunities" [Do06: 549].

3.2 Methodisch: Reflexivität und Dokumentation der Durchführung

Während sich über die methodologische Angemessenheit von Zielstellungen der Ethnografie in der HCI noch kontrovers diskutieren ließe, ist die Frage der *adäquaten methodischen Durchführung* schwerwiegender und lässt weniger Spielraum für abweichende Perspektiven. In der Abgrenzung zur sozialwissenschaftlichen Ethnografie findet sich in Methodenwerken der HCI oft der Hinweis, diese seien „nur" auf Verstehen der sozialen Zusammenhänge aus, anstatt auch Systeme zu entwickeln [Ja17]. An dieser Selbstverortung lässt sich das methodische Problem der empirizistischen Ethnografie in der HCI explizieren: Wenn es im Unterschied zu den Sozialwissenschaften nicht zuvorderst um das Verstehen – sondern um die Identifikation von Systemanforderungen und Nutzerbedürfnissen – geht, muss dieses auch nicht expliziert werden. Das ist allerdings ein schwerwiegendes Missverständnis der ethnografischen Methoden. Wie ich versucht habe zu zeigen, handelt es sich bei Ethnografien um Verfahren, die die Bedingungen des eigenen Verstehens explizit und transparent machen müssen (vgl. 2), was in vielen HCI-Anwendungen der Ethnografie nicht deutlich genug geschieht.

So ist zum Beispiel die Reflexion des eigenen Beobachterstandpunkts in diesen Ethnografien selten ausgeprägt. Ethnografien in der HCI betreffen zudem i.d.R. einen bereits stark eingegrenzten Ausschnitt des beobachtbaren Verhaltens. Diese Fokuslegung geschieht anders als in der „fokussierten Ethnografie" (vgl. 4.) oftmals allerdings nicht anhand sozialtheoretischer Überlegungen oder vorheriger empirischer Ergebnisse. Stattdessen werden hier potentiell das Ergebnis vorstrukturierenden Thesen wirksam, wie an der Problematisierung der Analysekategorien gezeigt wurde (vgl. 3.1). Das methodische Problem an diesem Vorgehen ist, dass die Berichte der Forschenden aus dem Feld dadurch nicht intersubjektiv überprüfbar sind. Grundlegende Entscheidungen der Fokussierung auf einen bestimmten Ausschnitt sozialer Wirklichkeit und die Kriterien der Selektion des resultierenden Samples sind in den Veröffentlichungen der HCI oftmals nicht oder nicht ausreichend dokumentiert. Auch bleibt unklar, ob und wie wesentliche Analyseschritte, wie etwa offenes Kodieren [Pr14: 212ff.] oder Gruppeninterpretationen durchgeführt wurden. Es ist daher unklar, ob es sich bei ethnografisch gewonnen „design opportunities" um methodisch abgesicherte Rekonstruktionen handelt, oder um einfache Extrapolation alltagsweltlicher Erfahrungen und Annahmen der Forschenden. Zweiteres wäre im Rahmen eines entwerfenden Handelns durchaus legitim – aber das ist dann keine Ethnografie, die den Gütekriterien qualitativer Sozialforschung entspricht.

4 Fokussierte Ethnografie

Die ursprüngliche, ethnologische Ethnografie wird aus zwei Gründen als ungeeignet für Anwendungen in der HCI angesehen. Zum einen sei ihre Orientierung auf soziale Gemeinschaften als Kulturen zwar für einige Fragestellungen (bspw. aus der CSCW) geeignet, für viele Fragestellungen zur Systementwicklung aber nicht. Hier stehen statt Kollektiven aus Menschen oft einzelne Handlungszusammenhänge oder Praktiken im Fokus. Zum anderen seien Feldphasen von mehreren Monaten in HCI-Projekten praktisch nicht realisierbar. Deswegen sind Adaptionen von Ethnografie, wie etwa die „rapid ethnography" [Mi00] vorgeschlagen worden, die in kürzerer Zeit zu einem ethnografischen Verstehensprozess führen sollen. Hier soll mit der „fokussierten Ethnografie" ein genuin soziologischer Methodenvorschlag diskutiert werden, der ein ähnliches Ziel hat, aber eng entlang der beschriebenen Analyseeinstellung entwickelt wurde (vgl. 3.1).

Kernunterschied zur ‚klassischen' Ethnografie ist neben dem geringeren Zeitaufwand und dem (durch Sampling angeleiteten) Wechsel der Erhebungsorte vor allem der analytische Fokus. Anstatt in eine ‚fremde' Lebenswelt zeitlich lange einzutauchen, sollen die Forschenden bei der fokussierten Ethnografie ihre Erhebungsorte kürzer, aber intensiver und gerichteter erforschen [Kn01: 129]. Analytischer Fokus sind nicht einzelne kulturelle Gemeinschaften, sondern ggf. auch translokale „Handlungs- und Kommunikationszusammenhänge" [Kn01: 137]. Die fokussierte Ethnografie interessiert sich dabei für *Handlungstypen, Formen der Problembearbeitung und Interaktionsmuster*. Ziel ist es, die Wissens- und Erfahrungsstrukturen der Handelnden zu rekonstruieren und die situative Konstruktion der Wirklichkeit in den beobachteten Handlungen nachzuzeichnen. Der Vorschlag zur Durchführung der fokussierten Ethnografie lehnt sich dabei explizit an Ethnografien aus der Systementwicklung in der CSCW an [Hu94].

Dieser Zeitgewinn soll auch wesentlich dadurch ermöglicht werden, dass der Feldaufenthalt durch Video- und Audiomaterial dokumentiert wird, und auch durch mehrere Forschende parallel durchgeführt werden kann. Die ersten Analyse- und Verdichtungsschritte können anhand des aufgezeichneten Materials nach dem Feldaufenthalt erfolgen, während die ‚klassische' Ethnografie das Verfassen von Tagebucheinträgen im Feld bevorzugt. Die fokussierte Form der Ethnografie setzt stattdessen stärker auf die intersubjektive Nachvollziehbarkeit des Materials, egal ob es sich dabei um Notizen, Protokolle oder Videoaufnahmen handelt. Die fokussierte Ethnografie ist dabei, unabhängig von der Anzahl der Erhebenden im Feld, notwendigerweise als Gruppenprozess konzipiert, im Gegensatz zur herkömmlichen Ethnografie, die „bis zur Fertigstellung der Texte ein sehr solitärer Prozeß ist" [Kn01: 131]. Unter Einbezug mehrerer Forschender, bspw. durch gemeinsame Interpretationsgruppen, sollen in der fokussierten Ethnografie *intersubjektiv nachvollziehbare Interpretationen* generiert werden.

Diese gemeinsamen Analysesitzungen sollen nicht auf die Rekonstruktion eines kulturell typischen (subjektiven) Wissensvorrats zielen, sondern auf das Hintergrundwissen der Akteure für das interessierende Problem: „Wird etwa der Umgang mit einer bestimmten Technologie untersucht, so wird das Hintergrundwissen hinsichtlich dieser Technologie

erhoben.“ [Kn01: 134]. Unabhängig von der Art der Aufzeichnungen selektiert die fokussierte Ethnografie von vornherein *ausgewählte Ausschnitte* des sozialen Feldes. Sie konzentriert sich auf bestimmte Probleme, die sie als Handlungsprobleme der Beobachteten konzipiert und untersucht. Das ist im Grunde nicht neu, wie auch Knoblauch mit Verweis auf Goffman und linguistische Ethnografien schreibt [Kn01: 132]. Die Leistung des Vorschlags besteht aber in der ausdrücklichen Konzentration auf *Strukturen und Muster von Interaktion, Kommunikation und Situationen* und ihrer Rolle für bestimmte Phänomene des Feldes. Durch die Fokussierung – und ihre Auswirkungen auf das Zeit- und Ressourcenbudget des Forschenden – wird ein komparatives Vorgehen entlang des Fallvergleichs besser möglich [Kn01: 137]. Ob bestimmte Handlungstypen und Interaktionsmuster über die einzelnen Erhebungsorte und -Situationen hinweg stabil sind, lässt sich so besser untersuchen und empirisch belegen. Die Generalisierung der Ergebnisse und die Anwendung für HCI-Fragestellungen werden dadurch wesentlich leichter.

Literaturverzeichnis

[Am97] Amann, K., & Hirschauer, S.: Die Befremdung der eigenen Kultur. Ein Programm. In (dies. Hrsg.): Die Befremdung der eigenen Kultur. Zur ethnographischen Herausforderung soziologischer Empirie. Suhrkamp, Frankfurt a.M., S. 7-52, 1997.

[Cr09] Crabtree, A., Rodden, T., Tolmie, P., & Button, G.: Ethnography considered harmful. In: Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems. ACM, New York, S. 879-888, 2009.

[Do06] Dourish, P.: Implications for design. In: Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems. ACM, New York, S. 541-550, 2006.

[Ja17] Lazar, J., Feng, J. H., & Hochheiser, H. Research methods in human-computer interaction. Morgan Kaufmann, Burlington, 2017.

[Ka03] Kalthoff, H.: Beobachtende Differenz. Instrumente der ethnografisch-soziologischen Forschung. Zeitschrift für Soziologie, 32(1), S. 70-90, 2003.

[Kn01] Knoblauch, H. Fokussierte Ethnographie: Soziologie, Ethnologie und die neue Welle der Ethnographie. sozialer sinn, 2(1), S. 123-141, 2001.

[Ma14] mailformouse: Lucy Suchman Presentation Man Against Machine HighDef. https://youtu.be/cNJWafS-BA4 [letzter Zugriff 28.06.2017]

[Lu91] Luhmann, N.: Soziale Systeme: Grundriss einer allgemeinen Theorie. Suhrkamp, Frankfurt a.M., 1991.

[Pr14] Przyborski, A., Wohlrab-Sahr, M.: Qualitative Sozialforschung. Ein Arbeitsbuch. Oldenbourg, München, 2014.

[Ro14] Rosenthal, G. Interpretative Sozialforschung. Eine Einführung. Beltz-Juventa, Weinheim, 2014.

[Sc02] Scheffer, T.: Das Beobachten als sozialwissenschaftliche Methode - von den Grenzen der Beobachtbarkeit und ihrer methodischen Bearbeitung. In (Schaeffer, Müller-Mundt

Hrsg.): Qualitative Gesundheits- und Pflegeforschung. Huber, Bern S. 351-374, 2002.

[St15] Storz, M., Kanellopoulos, K., Fraas, C., & Eibl, M. Designing with Ethnography: Tabletops and the Importance of their Physical Setup for Group Interactions in Exhibitions. i-com, 14(2), S. 115-125, 2015.

[Su87] Suchman, L. Plans and situated actions : The Problem of Human-Machine Communication. Cambridge University Press, New York, 1987.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 2323

Evaluation of Social Value Icons for a Domain-Specific Modeling Language

Andreas Fritsch, Stefanie Betz[1]

Abstract: Sustainability is one of the major challenges in modern society. Life Cycle Assessment with regard to sustainability is one of the current tools to asses and communicate a product's impact on sustainability. But currently, life cycle assessments are difficult to communicate to the end-user due to their inherent complexity. Domain-specific modeling languages (DSML) can help to communicate complex information. Therefore, we have developed a DSML – TracyML – as a visual language to effectively communicate social sustainability of a product life cycle. Additionally, to help with effectively communicating the different aspects of social sustainability such as child labor and excessive working hours (among others), we have enriched the DSML with social value icons, representing these different aspects. In order to evaluate whether the icons are understood as we intended them to be, we conducted a survey. Thus, in this paper, we present an evaluation of the associativeness of TracyML's social value icons based on the Multiple Index Approach using an online survey. The main outcome of the evaluation is that the icons (except for one) are all comprehensible and associated with the correct social values.

Keywords: Social Life Cycle Assessment; Domain-Specific Modeling Languages; Multiple Index Approach

1 Introduction

Domain-specific modeling languages (DSMLs) provide concepts (and a corresponding notation) that are intended to increase modeling productivity and comprehensibility for domain experts [Fr13]. Examples for domains, where specific modeling languages have been created for, are IT-Risks [SHF11], organizational goal planning [BF16], and clinical pathways [He15]. In contrast to DSMLs, general purpose modeling languages, like for example UML and ER for software engineering, provide rather abstract concepts that foster high re-usability and applicability to diverse domains, but are not easily understood by novice users. Especially the design of visual notations for modeling languages attracted increased attention in the scientific community during the last years. Much tribute goes to Moody who gathered findings from psychology and usability research to compile "principles" of notation design against which the cognitive effectiveness of visual modeling languages can be judged [Mo09]. Previously, language designers often naively assumed that the mere existence of a visual notation helps to understand complex models. Following Moody's

[1] Karlsruhe Institute of Technology, AIFB, Kaiserstr. 89, 76133 Karlsruhe, Germany, firstname.lastname@kit.edu

doi:10.18420/in2017_234

line of arguments it becomes apparent that a visual notation must be carefully designed in a way that actually supports a user in understanding the model. The careful design of a new DSML for a specific purpose then bears the additional benefit of improved cognitive effectiveness for the users. The authors of this contribution have developed TRACYML as a visual language to effectively communicate social sustainability of a product life cycle. The development process was based on guidelines for DSML design as proposed by Frank [Fr10]. Diverse conceptual issues are covered in the guidelines, but they also comprise a set of rules of thumb for graphical notation design based on Moody's principles. While these rules are very helpful for the initial design phase, we believe that empirical evaluation of a notation, based on established usability methods, can yield fruitful and constructive results. To illustrate this, we have focused on one of these rules that appeared especially critical to us in the context of TRACYML: One of Franks guidelines states that icons contribute to a more intuitive understanding. One could argue that this is not universally true: the use of an icon might contribute to an intuitive understanding - but it might as well be detrimental to it, as a user may associate another meaning than the intended one. This criticism appeared very relevant to us, especially in the context of TRACYML, where icons are used to represent complex aspects of social sustainability. In order to gather insights for a potential revision, we performed an evaluation of the associativeness of TRACYML's social value icons.

The next section will give some basic background about social life cycle assessment to provide context for the reader. We will also discuss some comparable user studies and how they are related to our work. Section 3 presents the applied evaluation method and our study design, as well as a discussion of the results. We will finally discuss threats to the validity of our study and conclude with an outlook (section 4).

2 Background and Related Work

Social Life Cycle Assessment (S-LCA) is a methodology aimed at assessing the social impacts of a product's life cycle, from extraction of raw materials to final disposal [BM09]. Thus, a S-LCA study identifies affected human stakeholder groups, how they are affected, as well as the severity of the effects. Being a relatively young methodology, S-LCA faces some major research challenges [Sa15] [BM09]. For one, a S-LCA study requires a large amount of data and produces likewise complex results, rendering the presentation and communication of the results difficult [BM09]. Our goal with TRACYML is then, to explore the potential of conceptual modeling, and especially DSMLs, in supporting the execution of S-LCA studies, as well as the presentation and communication of study results.[2] For our initial design of TRACYML, we have focused on the stakeholder group 'workers' and corresponding aspects of social sustainability based on methodological sheets for S-LCA [Be13]. Herein, recommendations for critical social aspects concerning various stakeholder groups are given. To support our visual notation, we have defined icons for each of the

[2] The interested reader may find additional information about TRACYML, as well as a prototypical modeling tool under `https://www.gotracy.org`.

social values that the methodological sheets propose for the stakeholder group workers. For example, we defined an icon that depicts a clock to refer to the social value 'working hours'. The social value 'working hours' addresses the occurrence of excessive working hours in a factory or an industry. A more detailed description of all the covered social values can be found in the methodological sheets (see [Be13]).

There have also been some efforts concerning the evaluation of icons in the field of conceptual modeling that are related to our work presented here. However, we have not found any example of an icon evaluation as a constructive part of a DSML design process. In the following, we will briefly outline, how our study design differs from comparable studies in the field of conceptual modeling. Caire et al. [Ca13] criticize the visual design of the requirements engineering notation i*. They propose a participatory design process, where they invite different user groups to create new symbols for the language concepts. Afterwards, the symbol sets are evaluated via a comprehension test, where naive users were shown a symbol and then asked to infer its meaning. Khanom et al. [KHK13] have also proposed and evaluated some icons to visualize requirements engineering concepts. They performed a somewhat similar kind of test, where users where shown the icons and asked to infer the correct meaning from a list. The evaluation methods utilized by Caire et al. and Khanom et al. differ in one subtle yet significant way from our test design: in their case, the users where shown the icons and then asked to provide the correct meaning (or 'referent'). In our case, we have first shown the referent (a description of the social value) to the users, who were then asked to choose (from the complete set) the icon that they associate with the social value. One can argue that such a test design resembles more closely an actual real-life situation, where a user has all icons visually present, but not a complete cognitive list of all corresponding concepts [ET93].

3 Presentation and Discussion of the Study

The evaluation of the icon design can be described as a 'test of associativeness' based on the Multiple Index Approach as defined by the European Telecommunications Standards Institute [ET93]. As we have defined only one set of icons, we do not compare various sets to decide which is the best, but rather collect performance data for each icon that may hint at weaknesses in the design. The participants of the study received a brief description and list of all icons per social value. From the description they had to guess the correct corresponding icon. From the answers we calculated the hit rate (# correct responses / # total responses) and false alarms (# of wrong responses).

Material: We created an online questionnaire with the tool LamaPoll (`www.lamapoll.com`). An initial draft of the questionnaire was piloted. Its structure is briefly presented in the following (the whole questionnaire is available under `https://gotracy.org/workingpapers/tracyml_icon_evaluation.pdf`): Question blocks were presented on separate pages to make sure that questions are not overlooked when scrolling down on one page. On the first page a brief description of the study's objective and context was given. It further informed

the participants about the required time to answer the questions (five to ten minutes) and mentioned a contact person (see [KF14]). The following pages presented each a social value (see Table 1) and asked the participant which of the icons conveyed the meaning best. In order to prevent sequencing errors, the appearance of the pages and the order of the icons on each page were randomized [ET93]. When constructing the questionnaire we followed the guidelines of [KF14]: Socio-demographic questions where put at the end of the questionnaire, since asking personal questions right at the beginning might lead to cancellation or refusal of the survey . The page showed a brief introductory text that emphasized the anonymity of the participants. Finally, on the last page, the participants were asked for further feedback or comments [KF14].

Participants: The link to the survey was distributed employees of an organization concerned with product sustainability, but also to general public to capture both, possible future modelers and viewers of diagrams. Altogether, the survey had 23 participants and of the participants, 87% were aged between 25 and 39 years, 4% between 40 and 59 and 9% between 60 and 79. 43% were male and 57% female.

Results: Table 1 shows the results from the survey, where one can see that most of the icons received high hit rates. The icons for the values *equal opportunities* and *social security* show the lowest hit rates with 74% and 61%, respectively. Interestingly, the icon for *freedom of association* has a very good hit rate, but at the same time an exceptionally high number of 17 false alarms. Regarding false alarms, the results for *child labour* (4) and *social security* (5) are also considerable. The potentially problematic icons revealed by hit rates and false alarms were also addressed in some comments. One proposition was that the child depicted in the icon for *child labour* could play with a ball to convey the message more clearly.

Icon	Referent	HR	FA	Icon	Referent	HR	FA
	Freedom of Assoc.	91%	17		Child Labour	83%	4
	Forced Labour	83%	1		Equal Opport.	74%	0
	Working Hours	83%	1		Fair Salary	100%	2
	Health and Safety	96%	1		Social Security	61%	5

Tab. 1: Survey results. Icons were selected from `http://fontaweseome.io`.

Some comments from the participants revealed another issue that is unique to the evaluated domain: an icon might be associable with its referring concept, but still provoke critique: our symbol for *equal opportunities* depicts the common symbol for men and women. And so one participant did note very correctly that there is not only gender-based discrimination.

The icon with the lowest hit rate was the one for *social security*: 61% of the participants selected the "correct" symbol (depicting a lifebelt), while another 26% chose the symbol for *freedom of association* (depicting a group of people). Two possible interpretations come to mind: (1) Many participants intuitively interpreted the symbol depicting a group of people as a "community" that gives some kind of social security. (2) The lifebelt symbol was hard to recognize or interpret. As we know from the overall high number of false alarms for *freedom of association*, this icon is often misinterpreted and therefore a good candidate for revision. One possibility would be to reinforce the message of freedom of association, for example by depicting a group of people that carry protest signs. One can assume that clarifying the meaning of the *freedom of association* icon would at the same time improve the hit rate for *social security*. We conclude that the evaluation revealed the most critical icons. At the same time, a deeper look at the results revealed promising possibilities for improvement. Altogether, the other icons show an acceptable performance in the evaluation.

Discussion: In this subsection we discuss the limitations of our work based on the threats to validity based on [RH08]. We are aware of the limitation of our data caused by the small number of survey participants. However, the results show clear indications of the comprehensibility of the icons (except for one) which was the main purpose of the survey. But, our data is limited and further research needs to be done especially with regard to the inner coherency of the icons. Another threat to validity is that the survey questions may be misunderstood or misinterpreted. To mitigate this threat several actions have been taken. The survey has been pre-tested and the participants were given the opportunity to state further feedback and comments. Sequencing errors are a threat to internal validity to comprehension and association tests. In order to prevent those, the appearance of the pages and the order of the icons on each page were randomized. Additionally, we only showed one social value per page to avoid confusion, overlooking and comparison. One risk to external validity is the not that high number of participants (23) in our survey and thus the limitations in generalizing the results. Yet, the data showed a saturation of the results. Between the 14th and 23rd participant the hit rates only changed by very few percentage points. The most visible change was that the comprehensibility of the one 'critical' icon for social security went from 44% to 61%. One threat to reliability are unclear survey questionnaires. We mitigate this threat by pre-testing the questionnaire.

4 Conclusion and Outlook

We have tested the associativeness of social value icons for a domain-specific modeling language. Altogether, all icons except for one showed an acceptable performance. A deeper analysis revealed constructive insights to further improve the icon design. This result shows the applicability of established usability testing methods to a DSML design process. As an outlook, we envision a catalogue of guidelines for empirical DSML evaluation that would help language designers to further improve the usability of modeling languages.

References

[Be13] Benoît Norris, C; Traverso, Marzia; Valdivia, Sonia; Vickery-Niederman, Gina; Franze, Juliane; Azuero, Lina; Ciroth, Andreas; Mazijn, Bernard; Aulisio, D: The methodological sheets for sub-categories in S-LCA. UNEP and SETAC, 2013.

[BF16] Bock, Alexander; Frank, Ulrich: MEMO GoalML: A Context-Enriched Modeling Language to Support Reflective Organizational Goal Planning and Decision Processes. In: ER 2016, volume 9974 of LNCS, pp. 515–529. Springer, 2016.

[BM09] Benoît, Catherine; Mazijn, Bernard, eds. Guidelines for Social Life Cycle Assessment of Products. UNEP and SETAC, 2009.

[Ca13] Caire, Patrice; Genon, Nicolas; Heymans, Patrick; Moody, Daniel L: Visual notation design 2.0: Towards user comprehensible requirements engineering notations. In: 2013 21st IEEE International Requirements Engineering Conference (RE). pp. 115–124, 2013.

[ET93] ETSI: Human Factors (HF); The Multiple Index Approach (MIA) for the evaluation of pictograms. Technical report, ETSI, 1993.

[Fr10] Frank, Ulrich: Outline of a Method for Designing Domain-Specific Modelling Languages. Technical Report 42, ICB-Research Report, 2010.

[Fr13] Frank, Ulrich: Domain-Specific Modeling Languages: Requirements Analysis and Design Guidelines. In (Reinhartz-Berger, Iris; Sturm, Arnon; Clark, Tony; Cohen, Sholom; Bettin, Jorn, eds): Domain Engineering, pp. 133–157. Springer, Berlin, Heidelberg, 2013.

[He15] Heß, Michael; Kaczmarek, Monika; Frank, Ulrich; Podleska, Lars; Täger, Georg: A Domain-specific Modelling Language for Clinical Pathways in the Realm of Multi-perspective Hospital Modelling. In: ECIS 2015 Completed Research Papers. 2015.

[KF14] Klöckner, Jennifer; Friedrichs, Jürgen: Gesamtgestaltung des Fragebogens. In (Baur, Nina; Blasius, Jörg, eds): Handbuch Methoden der empirischen Sozialforschung, pp. 675–685. Springer Fachmedien, Wiesbaden, 2014.

[KHK13] Khanom, Sukanya; Heimbürger, Anneli; Kärkkäinen, Tommi: Icons: Visual Representation to Enrich Requirements Engineering Work. J Software Eng App, 06(11):610–622, 2013.

[Mo09] Moody, D.: The Physics of Notations: Toward a Scientific Basis for Constructing Visual Notations in Software Engineering. IEEE Trans. Software Eng., 35(6):756–779, 2009.

[RH08] Runeson, Per; Höst, Martin: Guidelines for conducting and reporting case study research in software engineering. Empirical Software Engineering, 14(2):131–164, 2008.

[Sa15] Sala, S; Vasta, A; Mancini, L; Dewulf, J; Rosenbaum, E: Social Life Cycle Assessment. Technical report, EUR, 2015.

[SHF11] Strecker, Stefan; Heise, David; Frank, Ulrich: RiskM: A multi-perspective modeling method for IT risk assessment. Inf Syst Front, 13(4):595–611, 2011.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 2329

The Integration of Diverse User Data to derive User Requirements

Josephine Halama[1], Susen Döbelt[2]

Abstract: The user-centered design process demands for the collection of user requirements. Thereby, the process of integrating diverse user data poses several challenges. The aim of our research project AndProtect is to develop a usable tool that provides users a risk evaluation of their apps. Therefore, we captured requirements of smartphone users and applied diverse methods and questioning techniques. For this, we conducted a survey (N = 227) and a user experience assessment (N = 31). Thereby, challenges with regard to the feasibility of user requirements, the consideration of the frequency of responses, and contradictory statements occurred. As a result, we present how we dealt with these challenges and purpose strategies for the requirements integration. Our purposes can guide other researchers, since different methods, techniques and samples commonly used in a user-centered process. Moreover, the discussion on this article could support the identification of new approaches to integrate diverse user data.

Keywords: qualitative, quantitative, user research methods, user experience, mobile application

1 Introduction

Smartphones have become supportive attendants in our everyday life. However, their apps not only deliver useful services and information, they are also able to gather personal information of users [Fe12]. Therefore, self-data protection becomes important for mobile app users. Different approaches are known to support users in protecting their data, e.g., the static analysis, the dynamic analysis or scanning applications [Ge14]. Within the static analysis, the source code of a scanned app is analyzed to detect possible privacy leaks. In contrast, the dynamic analysis explores information flows during a simulated app usage. Within our research project, both analysis methods are combined to enhance transparency on mobile information flows. Moreover, we aim to present these analysis results in a usable scanning App – the AndProtect-App.

As accessibility and comprehension of analysis results are prerequisites for self-data protection, the technical development of the AndProtect-App is accompanied by user research. As a starting point, users' needs and resulting requirements are gathered to ensure a user-centered design [Di11] of the AndProtect-App. Therefore, a survey and a user experience (UX) assessment were conducted.

[1] Chemnitz University of Technology, Institute of Psychology, Cognitive and Engineering Psychology, Wilhelm-Raabe-Str. 43, 09120 Chemnitz, Germany, josephine.halama@psychologie.tu-chemnitz.de
[2] Chemnitz University of Technology, Institute of Psychology, Cognitive and Engineering Psychology, Wilhelm-Raabe-Str. 43, 09120 Chemnitz, Germany

doi:10.18420/in2017_235

2 Methods and Materials

To ensure a user-centered design of the AndProtect-App, we conducted an online survey and an UX-assessment in form of a laboratory study. The survey was performed to gather initial user requirements, whereas the UX-assessment aimed at the identification of requirements regarding the presentation of technical information. Both assessments included closed-ended and open-ended questions. Therefore, diverse methods and diverse question-formats were used. This diversity is also reflected in the nature of participants' responses, which leads to the questions presented at the end of this section.

2.1 Online-Survey

Sample: We received $N = 227$ completed surveys. The majority of the participants (64%) were male and (78%) held a university degree. On average they were 35 years old ($SD = 12.22$). Their smartphone usage behavior was comparable with that of a typical German user. On average the participants used their smartphones $M = 109$ minutes a day ($SD = 100$ min; German smartphone users 140 min/day, [My15]). Furthermore, one quarter of the participants indicated that they had used 11 up to 20 apps, which corresponds to the German average [Fo15].

Procedure: The survey was conducted in spring 2016. Participants were informed about the purpose of the study, that they could cancel the survey at any time and that responses will be anonymized. The participants fulfilled questions pertaining to privacy concerns during the app usage. After that, we asked, „*How privacy protection could be improved in the mobile sector? Do you have requests or ideas for an implementation?*". Furthermore, some demographics (e.g., age, gender, education) and smartphone usage habits (e.g., usage time per day, number of tried apps) were captured. On average, it took about 30 minutes to complete the survey. After completion, the participants had the opportunity to take part in a raffle of 20 Euro payments.

2.2 Laboratory Study: User Experience Assessment

Sample: The majority (65%) of the $N = 31$ participants were female. Their average age was 23 years ($SD = 2.73$). Like in our online-survey, they met the description of typical smartphone users. Participants indicated to use their smartphone $M = 116$ minutes a day ($SD = 65$ min), which was comparable with the average German user [My15]. Like the average user [Fo15], the participants most frequently (29%) had tried out 11 up to 20 applications.

Procedure: The aim of the study was to derive requirements regarding the presentation of technical information. Therefore, some preparations were made in a pre-study. Firstly, the facets of the questionnaire AttrakDiff2 [HBK03] were modified in an explorative process. This modification led to nine UX-facets (e.g., description and valuation of

permissions, options for action, and stimulation). Secondly, three scanning apps were chosen from user-experience experts. After that, we conducted the main study in May 2016. The study took place in a laboratory of Chemnitz University of Technology. Participants` tasks and questions were presented on a PC. Furthermore, a test-smartphone was available to examine the three scanning apps. The participants were informed about the purpose of the study, the anonymized responses, and the possibility to cancel the test at any time. Then, the participants completed three tasks with each of the selected scanning apps (randomized order). Thereby, the scanning apps were used to check information flows of several apps (e.g., Skype, WhatsApp). After completing the tasks of one scanning app, the participants were asked with open-ended questions, if there were any things they liked/disliked during the interaction. When participants had tested all scanning apps, they rated the level of importance of the modified UX-facet (from 1 = "*not important at all*" to 10 = "*extremely important*"). At the end of the study, some demographics and individual smartphone usage habits were captured. On average, the test lasted about one hour and the students received credit points.

2.3 Data Analysis and Challenges of Data Integration

The qualitative responses from the survey (privacy improvements) were analyzed via inductive category formation [Ma14]. Qualitative responses from the laboratory study (like/dislike during interaction with the scanning app) were assigned to the modified UX-facets (deductive category assignment [Ma14]). For the analysis of quantitative data (importance of modified UX-facets), inferential statistics were applied. After these separate analyses, we wanted to summarize the data of both studies. This summary had the aim to derive an integrated set of user requirements for the development of the AndProtect-App. The integration turned out to be challenging in two ways. First, it was difficult to summarize qualitative and quantitative data and second, it was difficult to integrate responses of different used methods. From that, the following questions arose:

1. How could diverse user data be integrated to derive requirements for the development of our tool?
2. Which challenges arise from the integration and how to deal with them?

3 Results and Discussion

This section is divided into two main parts. First, we present our strategy to integrate diverse data (question 1) and second, we show three challenges during the integration process (question 2). Some results of both studies are presented to support the explanations of the strategy and the challenges. Thus, only subsets of study results relevant for the questions above are selected (for further results see [Ha16]; project website: https://www.andprotect.de/veroeffentlichungen/).

3.1 Integration Strategy

To derive holistic requirements for the development of the AndProtect-App, we merged the results of the survey and the laboratory study. Therefore, we used qualitative results from the survey (approaches to improve privacy protection) and the laboratory study (like/dislike during interaction). Thereby, we considered both, content and frequency of qualitative responses. In addition, we analyzed the quantitative data (rated levels of importance of the UX-facets) from the laboratory study.

A general challenge when integrating the results was the different degree of detail. Therefore, our integration strategy was to derive general requirements and to elaborate them with examples for a possible implementation. For example, we derived a requirement to "*provide comprehensive options for action*", which was based on the results of the survey. The supplementary example for an implementation was derived from the UX-assessment. It was formulated as follows "*Provide and highlight the option to delete single permissions or the scanned application within the scanning application*". In this case, the integration was not difficult. In other cases, the integration was challenging, as presented in the section below.

3.2 Challenges

Challenge I - Feasibility of Implementation: On the survey question, how the privacy protection could be improved, the participants made various suggestions. Most frequently (65%), they proposed to strengthen user control to secure personal data (e.g., they wanted to determine, which data were released to whom). Moreover, they asked for more transparency of information flows (15%). Other approaches, such as stricter legal controls or the social change of values, were mentioned less often (< 10%). One challenge was to decide, whether the implementation of the participants' proposals was feasible. For example, this was questionable for the mentioned approaches of stricter legal controls and the social change of values. Of course, our App is not responsible to carry out stricter legal controls. In contrast, the social change of values can be a long-term goal of the project and our App. However, the problem with the approach of changing values was the implementation in the app, because this requirement was too general. In addition, we did not find any further responses that could be assigned to this possible requirement to specify it. Therefore, it would have been either meaningful or speculative to integrate the approach of changing values. Consequently, we decided to drop this proposal when deriving the requirements for our tool.

Challenge II - Frequencies of Mentions: In both studies, we wanted to use the frequency of qualitative responses to indicate how important ideas of participants were. Thereby, the challenge was the handling of rare responses. To illustrate this challenge, we used some survey results. The most responses could be assigned to the approach of strengthen the user control to secure personal data (65%). To increase transparency was mentioned less frequently (15%). However, we interpreted increasing transparency as a logical

prerequisite for strengthen the user control. Probably, the frequencies resulted, because strengthen the user control to secure personal data was easier to retrieve as increasing transparency. Therefore, we concluded that frequencies of mentions are useful to get an overview on qualitative responses, but rare mentions can be as important as frequent mentions. In summary, we used the logical structure of the resulting requirements as decision criteria, when we considered certain user responses.

Challenge III- Contradictory Statements: We investigated which modified UX-facets of the laboratory study were important for the development of our tool. Therefore, we analyzed the frequencies of qualitative responses and the quantitative rated level of importance of one facet. In some cases, the integration was easy, in other cases rather difficult. For example, the results of the facet stimulation revealed contrary conclusions. The third most qualitative answers could be assigned to the facet stimulation. Textual, the most answers refer to the design of core functions of the scanning apps (e.g., the navigation or the valuation of permissions). In contrast, the quantitatively rated level of importance of the facet stimulation was significantly lower (Mdn = 6.00) than the average level of importance of all facets (Mdn = 8.00; Wilcoxon signed-rank test with z = -3.59, $p < .001$). In summary, the qualitative data indicated a high importance, whereas the quantitative data suggested a low importance of the facet. Because of the contents of qualitative responses, we concluded that the facet stimulation was an underlying facet of other facets. Therefore, stimulation may have served to support other facets, which were probably more salient to the user in our UX-assessment. Following this conclusion, we decided to derive a requirement regarding the facet stimulation.

When considering the challenges II and III, in both cases we decided to derive requirements for the development of our tool. In addition, both challenges led to the suggestion of a multilayered requirements structure. However, the reason for the inclusion was different. In challenge II, the increasing transparency was included, because it was a prerequisite for another requirement. In contrast, the stimulation-requirement in this section contributes to the fulfillment of other requirements.

4 Conclusion

In the present paper, we described the user-centered design process [Di11] during our research project AndProtect. Our aim was to present the challenges we faced when integrating diverse user data to derive requirements for our AndProtect-App. Furthermore, we described how we faced these challenges. In addition to these challenges, we see a general challenge in selecting the appropriate methods for holistic user requirements identification. The responses of our participants depended on the two methods we chose. Other methods, e.g., a focus group or a heuristic expert evaluation of scanning apps, would have led to further results and probably to other requirements. Furthermore, as user studies usually rely on voluntary participation, the selection of methods is often associated with different samples. This will lead to selective results as

well. Therefore, two additional questions arose: "*Which methods have to be selected for such an investigation?*", and "*How to deal with the possible bias resulting from the used methods and samples*". During the workshop, we want to discuss these questions and further solution to meet challenges we described above. We hope for a vivid exchange of experiences with other usability researchers.

5 Acknowledgments

This study was conducted within the research project "AndProtect" (funding code: 16KIS0349) funded by the German Federal Ministry of Education and Research.

References

[Di11] DIN EN ISO 9241-210: Prozess zur Gestaltung gebrauchstauglicher interaktiver Systeme. Beuth, Berlin, 2011.

[Fe12] Felt, A. P et.al.: Android Permissions: User Attention, Comprehension, and Behavior. In: Symposium on Usable Privacy and Security (SOUPS), Washington, D.C., 2012.

[Fo15] ForwardAdGroup: Wie viele Apps haben Sie auf Ihrem Smartphone installiert?. In: Statista - Das Statistik-Portal. Retrieved from https://de.statista.com/statistik/daten/studie/162374/umfrage/durchschnittliche-anzahl-von-apps-auf-dem-handy-in-deutschland/, June 15th 2017, 2015.

[Ge14] Geneiatakis, D. et.al.: A Permission verification approach for android mobile applications. Computer & Security, 49, pp. 192-205, 2014.

[Ha16] Halama, J.: Heuristische und empirische Untersuchung der User Experience von Permissions-Applikationen und Ableitung von nutzerzentrierten Gestaltungsempfehlungen. Unpublished master thesis, Professorship of Cognitive and Engineering Psychology, Chemnitz University of Technology, 2016.

[HBK03] Hassenzahl, M.; Burmester, M.; Koller, F.: AttrakDiff: Ein Fragebogen zur Messung wahrgenommener hedonischer und pragmatischer Qualität. In (Ziegler, J. ; Szwillus, G. , Hrsg.): Mensch & Computer 2003: Interaktion in Bewegung, Stuttgart, B.G. Teubner, Leipzig, S. 187-196, 2003.

[Ma14] Mayring, P: Qualitative Content Analysis: Theoretical Foundation, Basic Procedures and Software Solution. Retrieved from http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0168-ssoar-395173, June 15th 2017, 2014.

[My15] MyMarktforschung.de: Studie: Smartphones liebster Zeitvertreib der Deutschen. Retrieved from https://www.mymarktforschung.de/de/ueber-uns/pressemitteilungen/item/studie-der-alltag-der-deutschen.html, June 15th 2017, 2015.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 2335

Eine kombinierte Web Usability Methode für Start-Up Unternehmen

Andreas Mladenow, Christine Strauss[1]

Abstract: In den letzten Jahren haben sich unterschiedliche Ansätze zum Messen der Usability einer Website entwickelt. In diesem Kontext geht der vorliegende Beitrag der Frage nach, wie die Website-Usability eines Start-Up Unternehmens mit Fokus auf ein 4C-Net Business Model gemessen werden kann und untersucht Webauftritte von Unternehmen, die durch den kombinierten Einsatz von Tools und User Testing in einem mehrstufigen Verfahren analysiert werden. Zunächst wird der Traffic der Webauftritte mithilfe der Einbindung eines Web Analytics Tools verfolgt. Damit können die relevanten Webmetriken für das jeweilige Geschäftsmodell identifiziert und ausgewertet werden. Im nächsten Schritt wird User Testing (User Diaries von Studierenden) eingesetzt. Anhand dieser kombinierten Methode sollen potenzielle Usability-Problemfelder auf den Haupt- und Unterseiten besser identifiziert werden. Basierend auf den evaluierten Verbesserungsvorschlägen hinsichtlich der Usability können entsprechende Anpassungen beim Design des Webauftritts implementiert werden.

Keywords: Usability, Web Analytics, User Testing, Geschäftsmodelle, Start-Ups

1 Einleitung

Die Bedeutung des Internets in unserer Gesellschaft hat zu einem enormen Wachstum von Websites geführt, die für ihre Nutzer alle Arten von Dienstleistungen anbieten [MNS16, MBS16]. Dabei zählt die Usability einer Website zu den wichtigsten Qualitätsfaktoren von Online Auftritten [Ni99, Kr00, Ho05, Na16] und gerade Start-Up Unternehmen mit innovativen Geschäftsideen versuchen sie stets zu verbessern [Bu16, Ha09]. Doch im Vergleich zu anderer Software ist es schwierig die Usability einer Website zu messen, da mit dem Webinhalt vielfältige, widersprüchliche Ziele erfüllt werden und eine große Bandbreite an Nutzern mit unterschiedlichen Bedürfnissen, Zugängen und Anwenderkenntnissen angesprochen werden müssen.

Die zunehmende Digitalisierung der Wirtschaft hat auch einen Gründungsboom ausgelöst und viele Start-Up Unternehmen nutzen die Möglichkeit der Online Kundenansprache und bieten innovative Geschäftsideen an [Bu16, Ml16]. Durch einen benutzerfreundlichen Webauftritt kann der User die Ziele, die das Start-Up Unternehmen mit dem Online Auftritt verfolgt, besser erreichen [Hy15]. Je nach Geschäftsmodell können diese Ziele

[1] Universität Wien, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften, Fachbereich eBusiness, Oskar-Morgenstern-Pl. 1, 1090 Wien, {andreas.mladenow, christine.strauss}@univie.ac.at

doi:10.18420/in2017_236

unterschiedlich ausfallen, denn der Nutzer möchte auf einer Nachrichtenseite informiert werden, in einem Webshop etwas kaufen oder auf einem Streaming Portal unterhalten werden.

Abhängig vom Zweck der Website gibt es somit unterschiedliche Faktoren, welche die Usability einer Website beeinflussen [Ka10, SS14, SMW13, MMS16]. Um den Anforderungen unterschiedlicher Geschäftsmodelle für Start-Up Unternehmen möglichst umfassend gerecht zu werden, beleuchtet der vorliegende Beitrag die Web Usabiliy anhand einer kombinierten Methode.

2 Web Usability Methoden

Mit der Web Usability wird die vom Nutzer erlebte Nutzungsqualität bei der Interaktion mit einer Website inklusive aller Unterseiten untersucht. Laut Nielson sollen für die Bewertung der Usability einer Website folgende Prinzipien („HOMERUN") herangezogen werden: *„highly quality content, often updated, minimal download time, ease of use, relevant to users´ needs, unique to the online medium and adhering to net-centric corporate culture* [Ni99].

In den letzten Jahren wurden unterschiedliche Ansätze zum Messen der Usability einer Website, wie Tools, User Testing, Multiple-Criteria Decision Analysis (MCDA) oder Soft Computing entwickelt. Basierend auf einer durchgeführten Literaturanalyse unterteilen Nagbal et al. [Na16] vorzufindende Web Usability Methoden in sechs Kategorien (vgl. Tabelle 1).

Methode	Beschreibung
User Testing	Benutzer bewerten die Usability der Website
Experten Reviews	Usability-Experten führen die Bewertung durch
Multi Criteria Decision Making	beruhen auf Präferenzen der Entscheidungsträger als Basis für die Bewertung der Usability
Soft Computing Methoden	liefern (keine exakten) Lösungen zu komplexen Problemstellungen bei den Usability-Evaluierungen
Modelle	basieren auf formalen Methoden zur Vorhersage von Anforderungskriterien für Benutzer der Website
Tools	liefern automatische Berechnungen zu den gewünschten Web-Metriken

Tab. 1: Web Usability Methoden [Na16].

In der Praxis wird häufig User Testing als Methode eingesetzt, um Kundenbedürfnisse entsprechend zu berücksichtigen. Hierzu gibt es eine Reihe von Varianten. Die Beta-Test-

Phase bei der Erstellung von Websites ist mittlerweile weit verbreitet. Sie hat allerdings bei Start-Up Unternehmen den Nachteil, dass Websites mit geringem Traffic wenige Rückmeldungen erhalten und Probleme mit der Usability häufig nicht kommuniziert werden. Daher sollten zumindest umfangreiche Inhouse-Tests durchgeführt werden, bevor die Website online gestellt wird. Die Methode der User Diaries eignet sich besonders für die Erforschung der Nutzung von mobbilen Endgeräte in der Praxis, da eine realistische Umgebung unter eingeschränkten Laborbedingungen schwer replizierbar ist. Bei Usability-Tests mit Fokusgruppen können Interaktion mit einer Website, wie z.B. Eye-Tracking, im Labor und beim Remote-User-Testing unterwegs mit Hilfe von Webcams beobachtet werden und beim Tree-Testing wird das Auffinden von Elemente in der Website-Hierarchie analysiert [NB16].

Experten Reviews beinhalten häufig Cognitive Walkthroughs [MSK10]. Dabei wird getestet, wie ein User ohne formale Instruktionen die Ziele auf der Website (z.B. Produktkauf, Anmeldung) erreicht. Reviews von Experten haben jedoch den Nachteil, dass sie stark von den Fähigkeiten der einzelnen Experten abhängig sind [Be04]. Beim sogenannten Pluralistic Walkthrough führen Usabiliy Experten, Benutzer und Designer Überprüfungen auf jeder Unterseite der Website durch und geben Feedback. Aufgrund knapper, zeitlicher Ressourcen können mit dieser Methode in der Regel jedoch viele Szenarien nicht berücksichtigt werden.

Mit der Multi Criteria Decision Making Methode (MCDM) soll die beste Alternative aus einem Pool von Entscheidungsmöglichkeiten unter Berücksichtigung mehrerer Kriterien ausgewählt werden [Re15]. Durch einen systematischen Algorithmus soll eine möglichst hohe Genauigkeit und Objektivität der Ergebnisse erreicht werden. Kritisiert wird an der Methode, dass die Mehrheit unterschiedlicher MCDM Methoden mit demselben Datensatz konträre Ergebnisse liefert [Re15]. Soft Computing [BZ70] bietet hingegen mittels Fuzzy Logic, Probabilistic Reasoning oder Neural Computing Methoden an, die oft komplementär genutzt werden können. Ein weiterer Ansatz ist, dass durch formale Modelle Vorhersagen über das Nutzerverhalten getroffen werden [At08, Ha13].

Mit Tools kann analysiert werden, ob eine Website vordefinierte Standards (z.B. ISO-Normen: Bewertung von Softwareprodukten ISO 9126, Benutzerorientierte Gestaltung interaktiver Systeme ISO 13407, usw.) erfüllt. Dabei wird die Qualität des HTML Codes mit den Usability Richtlinien verglichen. So werden mit einem Tool, *Website Analysis and Meqasurement Inventory (WAMMI)*, beispielsweise kritische Parameter, wie Effizienz oder Lernfähigkeit analysiert und mit dem Tool *Clickheat* werden Klickmuster ausgewertet [ASW06]. Mithilfe *Google Analytics* wird das Verhalten der Benutzer durch Key Perfomance Indicators (KPI) wie Bounce Rate, Page Views oder Visits festgestellt.

3 Kombinierte Methode für Start-Ups

Im Rahmen einer Lehrveranstaltung an der Universität Wien wurde für Web Usability Tests eine kombinierte Methode (vgl. Abbildung 1) eingesetzt. Durch den Einsatz einer

kombinierten Methode sollten dabei Schwächen einzelner Verfahren ausgeglichen werden [Na16].

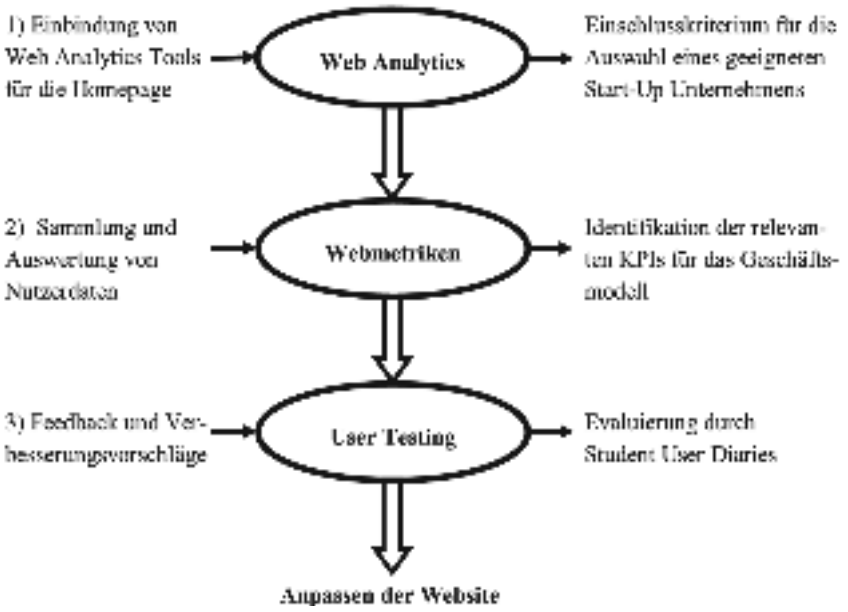


Abb. 1: Kombinierte Web Usability Methode

Für die Untersuchung wurden in einem Zeitraum von drei Jahren 20 Start-Up Unternehmen mit einem 4C-Net Business-Model (Connection, Content, Commerce, Context), also einem Business-to-Consumer (B2C) Geschäftsmodell, ausgewählt. Einschränkend wurde somit auf Multi-Sided Plattformen (mit Business-to-Business und B2C) verzichtet. Einschlusskriterium war zudem die Einbindung eines Web Analytics Tools für das Unternehmen.

3.1 Tools

Um das Verhalten der Benutzer einer Website zu analysieren, wurde auf Google Analytics zugegriffen. Damit lassen sich viele Informationen der Benutzer abrufen, wie z.B.: woher der Benutzer kommt, welches Endgerät und welches Betriebssystem er bei seinem Besuch nutzt, wie lange er auf der Website verweilt, wie hoch die Absprungrate ist oder von welchem Link er weitergeleitet wurde.

Diese Informationen lassen sich in Form von Metriken (KPI) anzeigen bzw. berechnen. Je nach Geschäftsmodell des Unternehmens kann hierbei auf unterschiedliche KPI zugegriffen werden, wie das folgende Beispiel veranschaulicht: primäres Ziel eines

Webshops ist der Online-Verkauf von Produkten. Daher ist der bedeutendste KPI (Konversationsrate) für einen Webshop die Anzahl der Bestellungen durch die Benutzerzahl. Ein wichtiger Faktor für die Usability ist hierbei der Konversationspfad, der die Abwicklung des Bestellvorgangs, von der Warenkorblegung bis zum Kauf, analysiert. Ein kurzer Konversationspfad erhöht in der Regel die Usability, da die Bestellung vom Benutzer innerhalb weniger Klicks durchgeführt wird. Eine hohe Absprungrate (Bounce Rate) während des Bestellprozesses ist dagegen ein Indikator für eine weniger vorteilhafte Usability. Bei einem Content-Geschäftsmodell ist hingegen die Registrierungsquote bei Benutzern der Webseite ein relevanter KPI, der als Konversationsrate für dieses Geschäftsmodell verwendet wird. In diesem Zusammenhang zeigt Abbildung 2 die Konversationsrate eines Start-Up Unternehmens innerhalb der ersten sechs Monate seit seiner Gründung: die Beta-Phase, der Relaunch, ein Peak-Event, das durch einen Medienauftritt hervorgerufen wurde, und eine Phase danach.

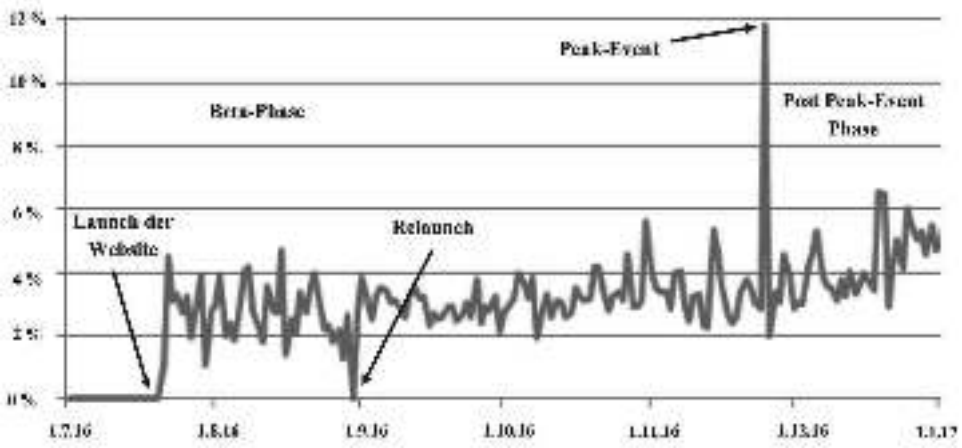


Abb. 2: Konversationsrate einer Content-Website

Mithilfe des Tools konnten folgende Punkte analysiert werden:

- Durch die KPI konnte ein zeitraumbezogenes Monitoring der Website und der durchgeführten Marketingaktivitäten (Kampagnen, individuelle Kundenansprache) unter Bezugnahme auf das jeweilige Geschäftsmodell erfolgen.
- Anhand von Absprungraten, Besuchszahlen, Besuchszeiten und Pfadanalysen konnten besonders (un-)beliebte Unterseiten ausgemacht werden.
- Kurzfristige Auswirkungen von Veränderungen auf einzelne Unterseiten konnten unmittelbar untersucht werden.

3.2 User Testing

Im nächsten Schritt wurde auf Student User Diaries (User-Testing) zurückgegriffen. Abbildung 3 stellt den zeitlichen Verlauf der Student User Diaries dar, wobei sich der Erfassungszeitraum über mehrere Wochen erstreckt. Die einzelnen Protokolle, werden in-situ in schriftlicher Form durchgeführt und auf die online-Plattform hochgeladen. Nach der Studie werden die Informationen von jedem Teilnehmer zur Verfügung gestellt und anhand eines Vortrags diskutiert.

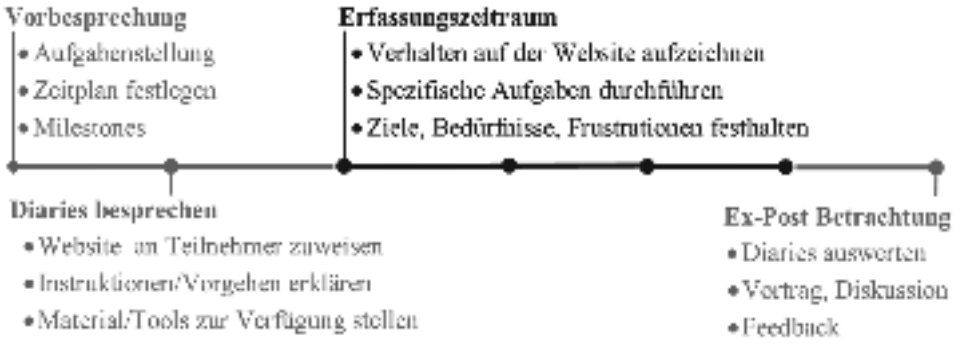


Abb. 3: Zeitlicher Verlauf der Student User Diaries

Mithilfe der User Diaries wurden insbesondere folgende Punkte adressiert, die mit den Analytics Tools nicht bzw. nicht ausreichend analysiert werden konnten:

- was die Erfahrungen beim Benutzen der Website waren,
- wie Kundenerfahrungen für aktuelle Kunden verbessert werden konnten,
- wie sich Entwicklung von Verhaltensweisen im Laufe der Zeit veränderten,
- wie die Zielgruppe eine Aufgabe auf der Website ausgeführt hat,
- welches Umfeld für die Website notwendig war und
- welche unvorhergesehenen Herausforderungen zu lösen waren.

4 Conclusio

In den letzten Jahren haben sich verschiedene Methoden zum Messen der Web-Usability (weiter-)entwickelt. Der vorliegende Beitrag analysiert eine Kombination von Methoden, um die Nachteile, die einzelne Methoden haben, auszugleichen und den Anforderungen unterschiedlicher Geschäftsmodelle für Start-Up Unternehmen möglichst umfassend gerecht zu werden. Zunächst werden quantitative Daten zum Nutzerverhalten anhand von Tools ausgewertet. Das im Anschluss eingesetzte User Testing stellt hingegen einen

qualitativen Ansatz dar. Die Ergebnisse zeigen, dass durch User Testing wertvolle Informationen über die Verhaltensweisen und Erfahrungen von potenziellen Kunden gewonnen werden. Die ausgewerteten User Diaries werden bei den Nutzern zu Hause, an der Universität, im Büro oder an jedem anderen Ort, an dem die Website aufgerufen wird, durchgeführt. Für Start-Up Unternehmen ist die Evaluierung der eigenen Online-Präsenz heute ein wichtiger Faktor. Mit der Überprüfung der Websites kann das Design einer Website auf Grundlage von konkretem Feedback evaluiert und verbessert werden. Die verwendeten Methoden und Verfahren zeichnen sich dabei durch ein möglichst hohes Maß an Effizienz sowie durch Validität, Reliabilität und Repräsentativität aus.

Literaturverzeichnis

[ASW06] Arroyo, E., Selker, T., Wei, W.: Usability tool for analysis of web designs using mouse tracks. In CHI'06 extended abstracts on Human factors in computing systems. ACM, S. 484-489, 2006.

[At08] Atterer, R.: Model-based automatic usability validation: a tool concept for improving web-based UIs. In: Proceedings of the 5th Nordic conference on Human-computer interaction: building bridges. ACM, S. 13-22, 2008.

[Bu16] Bursuk, I., Mladenow, A., Novak, N. M., Strauss, C.: Online cofounder search in tech startups. In Proceedings of the 18th International Conference on Information Integration and Web-based Applications and Services, ACM, S. 482-488, 2016.

[BZ70] Bellman, R. E., Zadeh, L. A.: Decision-making in a fuzzy environment. Management science, 17(4), B-14, 1970.

[Be04] Bertelsen, O. W.: The activity walkthrough: an expert review method based on activity theory. In: Proceedings of the third Nordic conference on Human-computer interaction. ACM, S. 251-254, 2004.

[Ha13] Hasan, L.: Heuristic evaluation of three Jordanian university websites. Informatics in Education, 12(2), S. 231-251, 2013.

[Ha09] Hanson, V. L.: Age and web access: the next generation. In Proceedings of the 2009 International Cross-Disciplinary Conference on Web Accessibililty (W4A), ACM, S. 7-15, 2009.

[Ho05] Holziger, A.: Usability engineering methods for software developers. Communications of the ACM, 48(1), S. 71-74, 2005.

[Hy15] Hyben, B., Mladenow, A., Novak, N. M., Strauss, C.: Consumer acceptance on mobile shopping of textile goods in Austria: modelling an empirical study. In Proceedings of the 13th International Conference on Advances in Mobile Computing and Multimedia, ACM, S. 402-406, 2015.

[Ka10] Kaushik, A.: Web analytics 2.0: The art of online accountability and science of customer centricity. John Wiley & Sons, 2010.

[Kr00] Krug, S.: Don't make me think!: a common sense approach to Web usability. Pearson Education India, 2000.

[MSK10] Mahatody, T., Sagar, M., Kolski, C.: State of the art on the cognitive walkthrough method, its variants and evolutions. Intl. Journal of Human–Computer Interaction, 26(8), S. 741-785, 2010.

[MMS16] Makarova, T., Mladenow, A., Strauss, C.: Barrierefreiheit im Internet und Suchmaschinenranking Informatik 2016. Nr. 259. Lecture Notes in Informatics, Gesellschaft für Informatik, Köllen Druck. Bonn, S. 1071-1085, 2016.

[MNS16] Mladenow, A., Novak, N., Strauss, C.: Online ad-fraud in search engine advertising campaigns. In 3rd International Conference on Information and Communication Technology-EurAsia (ICT-EURASIA) and 9th International Conference on Research and Practical Issues of Enterprise Information Systems (CONFENIS), Springer, S. 109-118, 2015.

[MBS16] Mladenow, A., Bauer, C., Strauss, C.: "Crowd logistics": the contribution of social crowds in logistics activities. International Journal of Web Information Systems, 12(3), S. 379-396, 2016.

[Na16] Nagpal, R., Mehrotra, D., Bhatia, P.K..: The State of the Art in Website Usability Evaluation Methods. In Design Solution for User Centric Information Systems. IGI Global, 2016.

[Ni99] Nielsen, J.: Designing web usability: The practice of simplicity. New Riders Publishing, 1999.

[NB16] Nielsen, J., Budiu, R.: Mobile usability. MITP-Verlags GmbH & Co. KG, 2013.

[SMW13] Saeed, S., Malik, I. A., Wahab, F.: Usability evaluation of Pakistani security agencies websites. International Journal of E-Politics (IJEP), 4(3), S. 57-69, 2013.

[SS14] Saeed, S., Shabbir, S.: Website Usability Analysis of Non Profit Organizations: A Case Study of Pakistan. International Journal of Public Administration in the Digital Age (IJPADA), 1(4), S. 70-83, 2014.

[Re15] Rezaei, J.: Best-worst multi-criteria decision making method. Omega, 53, S. 49-57, 2015.

Doktorandensymposium

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 2345

Doktorandensymposium

Steffen Becker[1] und Matthias Werner[2]

Das Doktorandenforum ist immer ein besonderer Workshop im Rahmen der Informatik Konferenzserie. Hier geht es nicht in erster Linie darum, fertig vorliegende Forschungsergebnisse zu präsentieren und zu diskutieren. Vielmehr geht es um Zukünftiges: Junge Forscherinnen und Forscher sollen ihre Forschungsideen vorstellen, Konzepte entwickeln und Vorgehen und Methoden testen. Die fertigen Ergebnisse sind dann (hoffentlich) auf einen Workshop bei einer künftigen Informatik oder bei einer anderen Konferenz zu bestaunen.

Viele der Doktorandinnen und Doktoranden haben schon recht klare Vorstellungen, wohin ihr „Abenteuer Forschung“ sie führen soll. Aber wie stets müssen sich Ideen und Konzepte erst im wissenschaftlichen Diskurs bewähren. Das Doktorandenforum versteht sich hier auch als eine Übungs- und Testplattform, wo nicht nur neue Ideen, sondern auch die Art der Darbietung und Argumentationslinien geprobt werden können. Damit ist das Doktorandenforum so etwas wie der Confederation-Cup im Fußball – einerseits eine Vorübung für die Weltmeisterschaft, andererseits geht es aber auch schon „richtig“ zur Sache.

In der diesjährigen Fassung hatten wir in einem offenen Call for Paper um Beiträge aller Fachrichtungen der Informatik gebeten. Auf diesen Call for Paper hin erhielten wir sechs Einreichungen. Diese Einreichungen wurden dann von unserem Programmkommittee, das mit Experten aus allen Gebieten der Informatik bestückt war, eingehend geprüft. Fachlich gab es dabei einen leichten Trend hin zu Themen des Software Engineering sowie der betrieblichen Anwendungsentwicklung. Nach der Begutachtung konnten fünf der sechs Doktorandenpapiere angenommen werden. Deren Autoren werden sich also einer intensiven Diskussion auf der Tagung stellen dürfen.

Das Doktorandensymposium selbst wird noch angereichert durch Doktorandenbeiträge aus dem Workshop zum Automotive Software Engineering, was das Gesamtprogramm sicher abrunden wird.

Wir danken allen Autoren, Gutachten und Mitorganisatoren für deren wichtigen Beitrag. Ohne Sie wäre das Doktorandensymposium nicht zustande gekommen.

Steffen Becker und Matthias Werner
Chairs des Doktorandensymposiums 2017
Chemnitz, den 5. Juli 2017

[1] Universität Stuttgart, 70569 Stuttgart, steffen.becker@informatik.uni-stuttgart.de
[2] Technische Universität Chemnitz, 09107 Chemnitz, matthias.werner@informatik.tu-chemnitz.de

doi:10.18420/in2017_237

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 2347

The impact of participation on government employees' adoption of IT - Empirical research focusing on e-file

Mariem Ben Rehouma[1]

Abstract: The progress of information technology over recent decades has led public administrations to digitize most of their business processes. The adoption of IT requires the participation of the government employees in the introduction process. Although participation seen as a key for the success of e-government, very few researches in this field investigate the impact of participation on the adoption of this change. To fill this gap, my research will investigate the influence of participation on the employees 'adoption of IT. The implications for theory of my research will contribute with new insights into IT-adoption research, especially into the interaction field between the government and its employees (G2E). Furthermore, the implications for practice in form of recommendations should help government to integrate participation into the introduction process of IT intended to achieve better employees 'adoption.

Keywords: Adoption; E-file; E-government; Employees; IT; Participation

1 Introduction

The progress of information technology over recent decades has led public administrations to digitize most of their business processes. This evolution has rapidly changed from rudimentary use of ICTs as simple tools to support highly structured administrative work to the integration of ICT through government operations [LY15]. Thereby, E-Government services like the electronic file (e-file) also known as Document Management System (DMS), which built the central of the digitalisation of government transaction processing, are supposed to belong to standard information and communication tools in German public administrations [T10]. The nationwide introduction of e-file in German public administrations poses a big challenge for the majority of the public servants. Fears and anxiety shape this domain according to statistics on E-government in the German-speaking region [S16]. Employees in the public sector are considered as "the key to a successful implementation of change and modernization processes" [M14, p.122]. Staff participation has a key role for insuring employees 'adoption of change [O02]. It represents a key drivers of innovation and should be stronger considered by E-Government projects [D16]. In this context, states the German Trade Union Confederation and many other concerned organizations the necessity to provide new architecture for employees' participation and to reform traditional change management approaches. They aim with this rethink to face the challenges of the digitalization of public administrations and to achieve a high degree

[1] University of Bremen, Department 03 Mathematics/Computer Science, Bibliothekstraße 1, 28359 Bremen, mariem.benrehouma@uni-bremen.de

doi:10.18420/in2017_238

of acceptance by the employees in this sector. This requires appropriate employees' preparation and participation to adopt this change [K15]. Although participation seen as a key for the success of e-government, very few researches in this field investigate the impact of employees' participation on their adoption of this change. To fill this gap, my research will explore opportunities for participation in theory and practice and investigate the influence of participation on the employees 'adoption of IT.

My proposal is structured as follow: in the following section, I will describe the problem statement that need to be addressed followed by the development of my research questions. Then I will give an overview about the state of research on IT-adoption and participation in section 2. Section 3 will introduce the research design of my thesis. Finally, I will present my first results.

1.1 Problem Statement

Despite the needs and requests of including employees' participation into the introduction process of IT to achieve employees 'adoption in public administrations, the impact of participation on the adoption has not yet been investigated. Only few researchers in the field of IT-adoption in general deal with the employees' perspective in public administrations (G2E) and with the influence of participation on the employees' adoption of e-file in particular (e.g. [B06], [NSS10], [HTC09]). It is claimed that employees' participation is essential for their adoption but it has in fact never been investigated. There is a clear gap in this area that provide the investigation of the real impact of employees' participation on their adoption of IT.

1.2 Research Questions

In the context mentioned above, I see the necessity to identify opportunities for participation in the introduction process of IT and to investigate the impact of the employees' participation on their adoption of IT. With the aim to advance the research in this area and to provide new theoretical and practical implications, I address the following main research question:

How does participation influence government employees' adoption of IT?

In order to answer my overall research question several sub questions are guiding my research:

- Which opportunities are available for participation in theory and practice?
- How are government employees involved in the introduction process of IT?
- Which role have participation for the different employees' groups?
- Which influence have participation on government employees' adoption of IT?

2 Theoretical Background[2]

2.1 IT-adoption

The adoption research focuses on the readiness of employees to benefit of the possibilities of information processing, and with the degree of their participation in the introduction of new computerized application systems [SH02]. IT-adoption is defined with the degree of readiness to use the possibilities offered by the information processing related with tasks on the own workplace [SH02]. User acceptance can be according to [DM96] defined as "…the demonstrable willingness within a user group to employ information technology for the tasks it is designed to support". In the same context is the user acceptance of IT-Applications described as a state illustrated through the adoption and the use of this applications, and which change of characteristics and forms over time [W11]. Two theoretical perspectives are mainly considered in researches on individual IT-adoption [B06]. The first perspective is based on individual perceptions like perceived usefulness and perceived ease of use as determinant for the user acceptance intention and behaviour. Such determinants are treated in the Theory of Reasoned Action (TRA) and the Theory of Planned Behaviour (TPB) including the Technology Acceptance Model (TAM), the Decomposed Theory of Planned Behaviour (DTPB), and the Unified Theory of Acceptance and Use of Technology (UTAUT). The second perspective is oriented on the Diffusion of Innovations Theory (DOI). In IT-Adoption research TAM is the most frequently used theory in this field followed by TPB and DTPB [RWD12]. Beyond these definitions, the terms "adoption" and "acceptance" are widely used as synonyms. A distinction in the literature is mentioned over the frequency of use an information system. Thereby refers the term "adoption" to user's decision to use this system at the first time and the term "acceptance" refers to the post adoption stage [H14]. I apply the term "adoption" in the course of my research, except of the explicitly use of the term "acceptance" in the relevant literature. Participation is often cited as an important factor for adoption. The following section gives an overview about participation. In section First Results, I will report about studies on the influence of participation on IT-adoption.

2.2 Participation

The concept of participation is integrated in many disciplines: social-, political-, economic sciences and business management. Therefore, many definitions are assigned to it. According to [HPS98] participation is defined as "the totality of forms and intensity by which individuals, groups, collectives secure their interests or contribute to the choice process through self-determined choices among possible actions". The forms of participation consist of direct participation, which requires the active involvement of the employees and the indirect participation through representation of interest like lobby or staff council. Information, communication, consultation, codetermination and control

[2] Parts thereof have also been submitted as research paper in a conference

present various degrees of participation according to [MA2000, p. 406]. In practice, direct participation is sectioned in four categories. The first category is downward communications, which is the weakest category of direct participation and presents a form to convey information. The second is upward problem solving, which is based on employees' knowledge and ideas. The third one is task-based participation, which may include employees' training for extensive tasks or the assumption of responsibilities. Finally team working and self-management, which incorporates responsibility for a complete task, working without direct supervisor, discretion over work methods and time, encouragement for team members to organize and multi-skill and influence over recruitment to the team [MA00].

3 Research Design and Methodology

I will apply in my research a mixed research approach. First explorative than confirmative using qualitative and quantitative methods as recommended by future research needs in many studies. The explorative approach will be based on two methods that serve as complementary rationale of each for the development of my hypothesis.The first one is a theoretical framework in form of a systematic literature review. The review aim to identify the state of research on IT-adoption especially the influence of government employees' participation on IT-adoption. The main results of my systematic review summarized and indicated under the section primary results. The second part applied qualitative methods based on a case study in German federal agencies to get insights into the implementation process of IT and how do employees participate in this process (instruments for participation, implementation stage, qualification, etc.). The access to the federal agencies is given through the German Trade Union Confederation (DGB) and the German Association of Civil Servants (dbb). Guided interviews with different employees' groups and focus groups (IT, organization, human resources and others) will serve to determine the role of participation for the employees and whether it seem to be essential for them or not in regard to their adoption of e-file. At this point participation will refer to the different aspects established in the theory and to instruments applied in the practice. This approach serve to explore information about employees' participation in theory and practice necessary for the generation of my hypothesis that will present the focus of my research model. The Hypothesis will be elaborated after these results and will be verified in the confirmative approach on the base of an empirical quantitative study in form of a survey. Surveys built a popular empirical method in researches in IT-adoption [BC08]. For the Evaluation of the data gained from this survey, it is supposed that I will use a partial least square approach (PLS) due to the correlation between the variables according to my current findings in the literature review. This could change during the research depends on the findings after conducting the planned studies.

4 First Results of my theoretical Framework[3]

In order to determine the state of research in employees' adoption of IT in public administration and to give an overview about future research needs in this filed, I conducted a structured literature review according to Webster & Watson [WW02]. The search of the relevant literature was according to vom Brocke et al. [vBS09]. First results from my structured literature review on factors that influence IT-adoption indicate that Participation and involvement turn up to be relevant factors that influence users' behavioral intention to use a given system and should be deeper investigated in future research. This results due to a depth qualitative analysis in my review of the antecedents used on these studies. Prior studies on individual innovation within the public sector report that employees in public organizations seem to perceive more barriers that limit their innovation work behavior (IWB) than employees in private sector organizations [N2015]. Employees' participation in the public sector is considered as an important part of the employee empowerment management approach to encourage their innovative behavior. One effective way of doing that, is providing information and access to job-related knowledge through training and development (Fernandez & Moldogaziev, 2013). The positive effect of employee participation and involvement on their outcome, life and organizational performance was reported in several studies ([HL04]; [ISP97]). In contrast to conventional organisational top-down approach used for strategies, structures and process of implementation in public sector, could participation and employees involvement be used as a strategy to achieve acceptance of change [O2002]. Practical experiences with employees' participation in modernization processes in German municipalities report about central forms of participation considered on information, qualification and Participation by elected representatives in the various project groups which were conducted spontaneous without integrated participation model and concept. The study indicates fundamental problems and the need for optimization of the participation process [BK97].

Regarding studies focused on E-Government adoption and in particular, the adoption of e-file on the internal perspective, very few studies investigate the influence of participation on this concern. Employees' use of information technology is driven according to several articles from their behavioural intention to use this technology. Behavioral intention was determined as the most used dependent variable that is significantly influenced by perceived usefulness and perceived ease of use ([HTW03]; [HTC09]; [S11]; [SP11]). The variable involvement was expressed by participation, commitment, partnership and responsibility and found as a positive influencing factor on employees' use of e-government technology [NSS10]. In this study participation and involvement have only been theoretically explored, have not yet been validated, and need to be further considered by future research. Furthermore, the variables information quality, argument quality, source credibility, adaptability and organizational climate, which – at first glance – seem to be quite different, turn out to be in fact quite similar and address the same type of factors,

[3] Parts thereof have also been submitted as research paper in a conference

i.e. communication, information, absence of bureaucracy, decision-making practices and job satisfaction ([B06]; [M10]; [SMD16]). Further factors such as the users being informed about the introduced technology also play an important role in the processes of creating user adoption of new IT [B06]. According to [R1995], user acceptance is particularly influenced by the provided information content and IT-relevant details as well as the communication channel used for spreading the information. Information built according to [MA2000] the first step of the participation escalator. It is a part of the category downward communication as mentioned under the definition of participation declared above. The importance of information has already been shown in related contexts such as citizens' adoption and continuous use of an e-government system [TSJ09] as well as in the government-to-business context [CE05]. The fact that most studies are based on widely used theories such as TAM, TPB and UTAUT inevitably leads to standard constructs such as perceived usefulness and perceives ease of use being analysed over and over again. That is not erroneous in itself, but the research field on IT adoption of government employees' remains incomplete where special characteristics of the public servants and characteristics of the public organization and the obligatory use of IT are not appropriately taken into account. Despite the diverse existing IS research theories and models, there is no generic e-government adoption research model. On the base of recommendations and future research needs in many articles, there is a necessity for deeper investigate special organizational and individual factors that influence the government employees' adoption of IT such as participation, information, training and education within the requirements and expectations of the different employees 'groups. In addition, it is recommended on the methodological aspect, to conduct both qualitative and quantitative approaches and to select an advanced statistical modelling concept to fully meet the requirements of this area of research.

5 Conclusion and Implications

The employees' perspective is underrepresented in IT-adoption research. In particular, participation is less investigated in this relationship. The aim of my research thesis is primary the theoretical understanding of the impact of participation on the government employees 'adoption of IT. The implications of theory with hopefully new findings could enhance the research field in this area. Further implications of my research are for the practice and should help government with recommendations to integrate participation into the introduction process of IT intended to achieve employees 'adoption. With an explorative approach with different qualitative methods, I will give insights about participation opportunities in theory and practice and explore information necessary for the development of my research model. The impact of participation on the employees 'adoption of IT will be investigated on the confirmative approach of my research design.

References

[BC08] Bélanger, F., & Carter, L.: Trust and risk in e-government adoption. Journal of Strategic Information Systems, 17(2), 165–176, 2008.

[B06] Bhattacherjee, Anol: "INFLUENCE PROCESSES FOR INFORMATION TECHNOLOGY ACCEPTANCE : AN ELABORATION LIKELIHOOD MODEL." *MIS Quarterly* 30(4), 805–25, 2006.

[BK97] Bogumil, J., & Kißler, L.: Verwaltungsmodernisierung auf dem Prüfstand der Partizipations- praxis. Erfahrungen mit Beschäftigtenbeteiligung in den Kommunalverwaltungen Hagen, Saarbrücken und Wuppertal. *WSI-Mitteilungen*, (10), 1–13, 1997.

[CE05] Conroy, M. M., & Evans-Cowley, J. S.: Informing and Interacting: The Use of E-Government for Citizen Participation in Planning. *Journal of E-Government*, *1*(3), 37–41, 2005.

[D16] DGB-Bundesvorstand: "Grundlegende Anforderungen an Ein Weißbuch „ Arbeiten 4.0 ", 1–14, 2016.

[DM96] Dillon, Andrew and Michael G. Morris: "User Acceptance of New Information Technology: Theories and Models." *Annual Review of Information Science and Technology Volume 31* Vol. 31:3–32, 1996.

[HL04] Handel, M. J., & Lewin, D.: Editors' Introduction : The Effects of New Work Practices on Workers. Industrial Relations: A Journal of Economy and Society, 43(1), 1–43, 2004.

[H14] Hofmann, S.. "Citizens' Adoption of Electronic Government Services. Recommendations for Government Communication and Service Provision on Social Networking Sites". PhD thesis. University of Münster, 2014.

[HTW03] Hu, Paul Jen Hwa, Theodore H. K. Clark, and Will W. Ma: "Examining Technology Acceptance by School Teachers: A Longitudinal Study." *Information and Management* 41(2):227–41, 2003.

[HTC09] Hung, Shin Yuan, King Zoo Tang, Chia Ming Chang, and Ching De Ke: "User Acceptance of Intergovernmental Services: An Example of Electronic Document Management System." *Government Information Quarterly* 26(2):387–97, 2009.

[ISP97] Ichniowski, C., Shaw, K., & Prennushi, G.: The effects of human resource management practices on productivity. American Economic Review, 87, 291-313, 1997.

[K15] Kommune 21: "Elektronische Akte : Digital Ist Besser." 2–4. Retrieved (http://www.kommune21.de/meldung_21121_Digital+ist+besser+.html), 2015.

[LY15] Liu, Shuhua Monica and Qianli Yuan: "The Evolution of Information and Communication Technology in Public Administration." *Public Administration and Development* 35(2):140–51, 2015.

[MA00] Marchington, M., Wilkinson, A. (2000), "Direct Participation" in Bach, S. and Sisson, K. (Eds), *Personnel Management*, 3rd ed., Blackwell, Oxford.

[M10] Melitski, A., Gavin, D., & Gavin, J.: Technology Adoption and Organizational Culture, INTERNATIONAL JOURNAL OF ORGANIZATION THEORY AND BEHAVIOR,

13(4), 546–568, 2010.

[M14] Molnár, Doreen: "Verwaltung Der Zukunft. Praxisreport Mit Beispielen Für Eine Moderne Personalpolitik." Retrieved (http://www.inqa.de/DE/Angebote/Publikationen/verwaltung-der-zukunft.html), 122, 2014.

[N15] Nijenhuis, K.: Impact Factors For Innovative Work Behavior in The Public Sector Impact Factors for Employee Innovative Work Behavior in the Public Sector. *The Case of the Dutch Fire Department*, 1–126, 2015.

[NSS10] Nurdin, Nurdin, Stockdale Rosemary, and Helena Scheepers: "E-Government, E-Services and Global Examining the Role of the Culture of Local Government on Adoption and Use of E- Government Services." *E-Government, E-Services and Global Processes - Proceedings of the joint IFIP TC 8 and TC 6 International Conferences, EGES 2010 and GISP 2010* 334(October 2016):111–24, 2010.

[O02] O'Brien, Geraldine: "Participation as the Key to Successful Change – a Public Sector Case Study." *Leadership & Organization Development Journal* 23(8):442–55, 2002.

[RWD12] Rana, N. P., Williams, M. D., & Dwivedi, Y. K.: "E-government adoption research: A meta-analysis of findings," *In Proceedings of the 20th European Conference on Information Syste*ms (ECIS 2012),1–10, 2012

[R95] Rogers, E.: *Diffusion of Innovations*, The Free Press, New York, USA, 1995.

[S16] Schulz-Dieterich, Andreas: "Studie : E-Government Wirkt." *Kommune 21* 7:10, 2016.

[S11] Shin, Eunjung: "Attitudinal Determinants of E-Government Technology Use among U.S. Local Public Managers." *Proceedings of the Annual Hawaii International Conference on System Sciences* 2613–22, 2011.

[SP11] Singh, Inder and Devendra Kumar Punia: "EMPLOYEES ADOPTION OF E-PROCUREMENT SYSTEM: AN EMPIRICAL STUDY." 3(4):85–95, 2011.

[SH02] Stahlknecht, P., & Hasenkamp, U.: *Einführung in die Wirtschafstinformatik.* New York: Springer, 2002.

[SMD16] Stefanovic, D., Marjanovic, U., Delić, M., Culibrk, D., & Lalic, B.: Assessing the success of e-government systems: An employee perspective. Information & Management, 53(6), 717–726, 2016.

[TSJ09] Teo, T. S. H., Srivastava, S. C., & Jiang, L.: Trust and Electronic Government Success: An Empirical Study. Journal of Management Information Systems, 25(3), 99–132, 2009.

[T10] Tsintsifa, Lydia: „Digitale Verwaltung 2020: Einführung der E-Akte in der Bundesverwaltung Der "Aktionsplan E-Akte" des Regierungsprogramms Digitale Verwaltung 2020", BMI, 2010. Retrieved from https://www.bmi.bund.de/DE/Kontakt/Benutzerhinweise/PDF_Hilfe.html;jsessionid=B71A3EF77DDC06E9432F17E793D73441.1_cid364?nn=3315468, 16.05.2016.

[W11] Wilhem, D.: "Nutzerakzeptanz von webbasierten Anwendungen: Modell zur Akzeptanzmessung und Identifi-kation von Verbesserungspotenzialen," Wiesbaden: Springer Gabler, 2011.

[HPS98] Heller, F.A., Pusic, E., Strauss, G. & Wilpert, B. Organizational participation: Myth and reality. New York: Oxford University Press, 1998.

[vBS09] vom Brocke, J., Simons, A., Niehaves, B., Riemer, K., Plattfaut, R., Cleven, A., Reimer: "Reconstructing the Giant: On the Importance of Rigour in Documenting the Literature Search Process," *In Proceedings of the 17th European Conference on Information Systems*, (9), 2206–2217, 2009.

[WW02] Webster, J., & Watson, R.: "ANALYZING THE PAST TO PREPARE FOR THE FUTURE: WRITING A LITERATURE REVIEW," *MIS Quarterly*, (26:2), xiii–xxiii, 2002.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 2357

Designing an intelligent Business Model Transformation Tool

Dominik Augenstein[1]

Abstract: Global companies as well as small and medium-sized businesses have to respond to fast-changing markets and new customer demands to maintain their position in competition. Therefore, business models of companies must be able to reply flexibly to new requirements and simultaneously their execution must be ensured. However, existing business model concepts and tools are too rigid and often remain on a rather abstract level. As a consequence, they support a transformation of a company not suitable enough. Therefore, we present a design science PhD-project with the aim of designing a business model configuration tool enabling higher executability of the defined business models and support business model transformations. Based on a comprehensive problem analysis and literature study, we derive a first set of meta-requirements and design principles. Additionally, we demonstrate a first prototypical instantiation of the identified design principles. The presented tool enables practitioners as well as theorists to observe changes in business models rapidly and use to tool for a transformation of a business model. Furthermore, through the configuration character of the tool, a company-tailored business model can be defined. As a final contribution, this research fosters cooperation between strategic and executive company levels which increasingly becomes an imperative capability in today's business environments.

Keywords: Business Model, Business Model Canvas, Design Science, Development Tools

1 Introduction

Increasing global competition, higher degrees of uncertainty as well as new opportunities driven by a growing number of digital services force companies to adapt their business models (BM) to the new environment [Te10]. Not only since the age of the digitalization, services have become more and more important in companies' strategies. Additional pressure is created through the fact, that consumers are more than ever able to compare these services on the markets. Therefore, companies have to rethink their traditional way of doing business.

Today, BMs become more and more important in different research disciplines like strategic management, entrepreneurship or marketing. However, it still exists a huge potential for research inter alia in the field of information systems and the context of the digital service transformation in particular [Ve14]. Companies increasingly concentrate

[1] Karlsruhe Institute of Technology, IISM, Fritz-Erler-Str. 23, 76133 Karlsruhe, dominik.augenstein@kit.edu

doi:10.18420/in2017_239

on redesigning BMs focusing on digital services. To support business modelling, several methods, techniques and tools exist [EBL16]. The most known is the BM canvas, which is also often used in practice [OP10]. The focal point of these concepts, as the BM canvas, is primarily strategic and less focused on the executability of the defined BMs. The canvas in special is good for a rapid outline of an existing BM [OP10]. However, adapting BMs or a supervision over a period of time need a redrawing of the whole template or ends in a loss of overview. Furthermore, people are not willing to spend a lot of time filling out a BM template and are willing to have a BM in a short period of time [OP10]. However, a good overview of the current business model is an important base for a transformation This is important for example after disruptive changes, which require changes of the current BMs (e.g. [JCK08]). Thereby, BM innovation is a key to firm performance [ZAM11]. Therefore, it is important to have a valid base for such transformations. The BM canvas cannot gain this validity per se, because it is more a template, where people can fill in their own "view" on the business [OP10]. This includes the challenges, that this view is not corresponding to the real way of doing business. Additionally, the whole process of transformation is not fully supported through the existing BM approaches, because they lack of executability [EBL16]. We therefore want to answer the question:

How can business intelligence be used in a business model tool to get a consistent state of the actual business?

As "tool intelligence" we apply a mining algorithm, which uses data of an ERP system to fill a BM automatically. Users only have to adapt this bottom-up view through their top-down knowledge. Additionally, we want to build a tool, which supports the transformation efficiently and objectively. Therefore, information and data of the ERP systems and other sources could be used to build a BM tool, which provides a proposal for a modeler for his own BM, which he can adapt. The advantages in this approach are, that the model is objective and the process of creating the model is standardized. So if each model is created in the same way, different models can be combined (automatically). This plays a role if for example one wants to compare the current and the target state during a BM transformation (e.g. [JCK08]). Additionally, it lowers the effort of modelling a BM.

2 The DSR Project

Aiming to design BM tools with a higher consistency, we apply the Design Science Research approach of Vaishnavi and Kuechler [VK04]. We consider this approach as a promising possibility to not only understand the factor of increasing consistency, but also to propose an adequate solution. Furthermore, with this approach we hope to support BM transformations, for example after external shocks [JCK08].

For this, we decide to involve companies in our research, which have great experience in business modelling and its execution. We therefore collaborate with KPMG and Bosch GmbH. Especially KPMG is interested in using the results of the project. In a joint project with Bosch we use the tool to model real scenarios and get potentials for improvements. Bosch itself wants these insights for improving their BM practices. The access to

individual usage of the tool in companies enables us to collect data in document analyses and interviews. According to Vaishnavi and Kuechler [VK04] we plan our DSR project in three cycles as shown in the following:

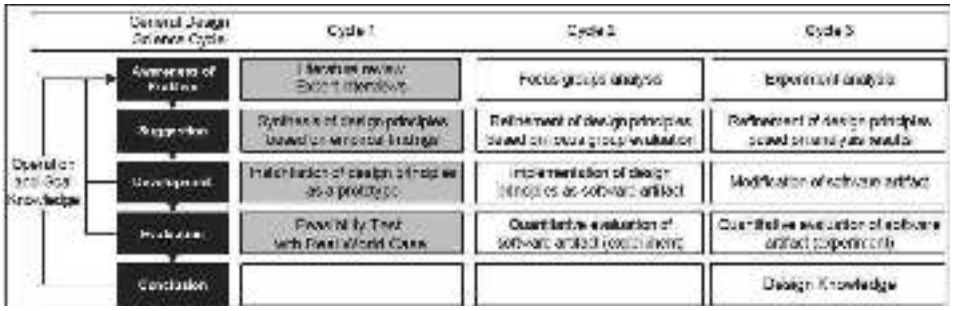


Figure 1. DSR Cycles (according to [VK04]).

In the first design cycle we select our industry partners (KPMG and Bosch) because of their knowledge of strategy implementation in different companies and the related BMs. At the beginning, we want to analyze the different requirements towards BM models concerning flexibility and operationalization. Therefore, we do exploratory interviews with KPMG about their use of BMs in the digital transformation and their needs. Besides this, we derive requirements out of literature, suggest a first set of principles and develop a first prototype. As a result of the interviews and the literature review, we proved not only, that the existing BMs and especially the BM canvas are suited on the strategic level [OP10]. This means a high abstraction level and impede a mediation between strategy and operational levels [AA10]. We get additionally concrete insights on how to improve the BM canvas. Therefore, we want to propose a BM tool, which enables higher consistency as an overall purpose and supports BM transformations (following the research achievements of Zott et al. [ZAM11] and Veit et al. [Ve14]). We therefore want extract the data from different ERP systems and process them into the different canvas categories. For a better comparability of different models, we also rebuild them in a graph. The status quo and target BMs should be captured using graph models to allow different configurations and should be comparable. Additionally, KPIs should reflect the implication of changes, as they are linked with the graph elements.

In the tool, the BM canvas is transformed into a graph. The graph is built of different knots and connections between them. The knots represent the known categories as well as concrete elements in this category. The elements are retrieved from exemplarily ERP data. The relations between the elements reflect the structure of the BM Canvas. The user can also define suitable KPIs and relate them to the belonging categories and elements. In the tool, the user can click on an element and can fill in an Excel. KPIs can be connected among elements through foreign keys. On the right-hand side in the following picture, one can see the planned configuration functions of the tool in a mock-up. There, two different BMs are compared with each other. The mapping is automatically, based on a common set of elements. Elements which are not included can be observed separately. For example, the element “Repairers” is not included in the current BM and could be realized with

internal or external resources, both influencing the KPIs. Like a configurator, one can see easily the influence on different decisions.

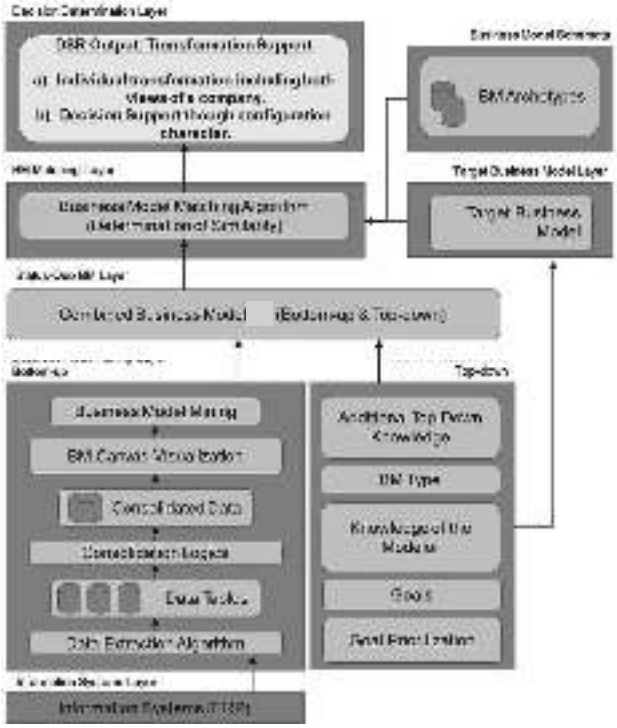


Figure 2: Technical Concept

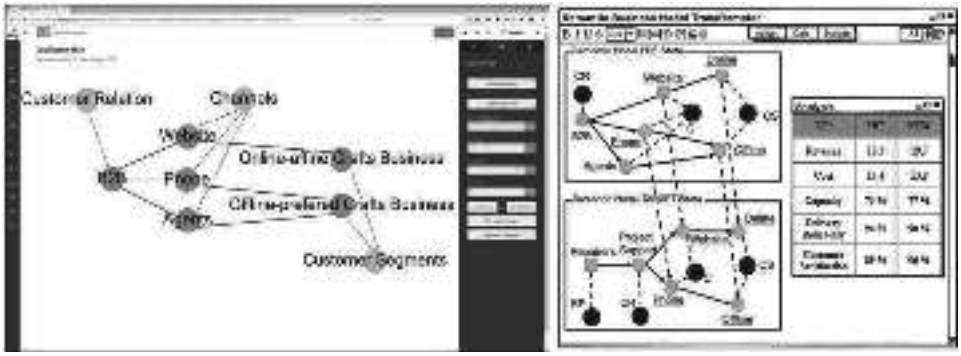


Figure 3: First functions of the BM Transformation Tool and planned features as a mock-up

To evaluate this first prototype, we take a real-world case provided by Bosch. In this case, current BMs are modelled using the model. To aim the target states, possible future BMs

are defined. To be able to make decisions and statements on the different models, they are mapped and differences are observed. Finally, through configuration, improvements can be found. The results are used as a base for improvements.

In design cycle two, the evaluation results of cycle one will be used to improve the BM transformation framework. To evaluate the derived design principles, a laboratory experiment is planned. Its' advantage is the control of the context with a high internal validity [Bh12]. We are aware, that one challenge with these experiments is the low external validity. However, the context of the experiment is set explicitly in a way, that the results can be adapted easily to practice. A real world case will be selected, where students have to build a BMs using different tools. Two groups will perform the same tasks. Each group will have 60 people. Each of them is doing the same task. People of group one will get the BM transformation tool, while people of group two only will use basic BM canvas templates. As tasks, they have to model a BM of a Bosch product, based on given information. Then, they have to model a future state, also based on given information. Finally, they have find out an optimal way of realizing the BMs. The BM transformation tool will thereby give a prefilled canvas, which the students only have to adapt. As the BM transformation tool provides advanced support, we expect group one to achieve better results than group two.

As participants we expect 120 graduate and undergraduate students from a German university. As they might have little competences in business modelling, they will receive a basic introduction. However, the tool as well as the BM canvas template are meant not only for experts, but also for novices. The participants will be assigned randomly to the two groups. Before the experiment starts, they have to pass a self-learning test (multiple choice), where they have to proof their understanding. Then they have to perform the defined tasks. As a reward, they will get a performance-dependent incentive. After this tasks, the participants will have to perform a second test (multiple-choice) about the understanding of the tasks and the field of BMs in general. Additionally, they will be invited to give qualitative feedback and suggestions for tool improvement or for limitations of the canvas, depending on the group.

In design cycle three we want to evaluate our BM transformation tool in a real-world environment [Pe12]. We use the results of cycle two to improve the tool and do then execute a field-based evaluation. As the laboratory experiment in cycle two gives high internal but low external validity, we want to rise the external validity. Therefore, we cooperate with our partner KPMG to focus the field study as much as possible. This enables a better comparability and generalizability of these results with the results of the laboratory experiment [Bh12]. As participants we select consultants of KPMG as they are one representative target group for such an improved BM tool. In their daily work they already get in touch with BMs and the BM canvas frequently. As a consequence, they are experts in BMs and need less time for an introduction in this field. We want to have a look at 30 projects and the performance of this tool in this field experiment. The consultants will use the tool in their daily work. We will observe then, how they use the tool and where we can find potential for optimization. Additionally, they have to fill out a questionnaire. We define several KPIs like revenue or costs are defined, which should be improved with

the tool. After the experiment, the results will be discussed with the participants. There they can give a last feedback about the tool and if it improves their work. Finally, we will publish an overall paper, were we show the new design knowledge, differentiated from this DSR project.

3 Conclusion

This proposal presents in a nutshell the ongoing design science project on designing a semantic BM transformation tool. Building on existing concepts, especial the BM canvas, we deduce design principles for BM transformation tools (e.g. [Ti98; AA10; LR13]). A high degree of internal and external validity will be given through the proposed combination of laboratory and field experiments. On the one hand, the laboratory experiment in cycle two has a high internal validity. On the other hand, the field experiment in cycle three provides a high external validity. We see this research project as a contribution to design science research and information system community both. The resulting design knowledge can be used by researchers for their own research on BM improvements. Practitioners can use the tool to evaluate BM transformations better and get support through a state-of-the-art tool. As a result, we suggest to extend the BM canvas with semantic elements. One advantage here is, that different BMs can be compared and mapped easily. It is thereby simple to observe gaps between different BMs. Therefore, the tool includes a function to find out the most suitable configuration.

This design science project is currently at the end of cycle one: After the comprehensive study of literature, expert interviews and the evaluation of real world cases, we found a first set of preliminary design principles and instantiated a first artefact. The artefact and especially the semantic model approach is evaluated in a feasibility test at Bosch. We hope to be able to show, that the model is more consistent and better supporting digital transformations as the traditional BM canvas. We expect, that different BMs can be compared more easily. Additionally, we expect, that the advanced model can be adapted much faster than the traditional one. As shown, future work in this project will be the adaption and evaluation of the tool in order to derive reusable design knowledge.

Besides general feedback, there are some challenges and open gaps which I would like to discuss in the doctoral consortium: (1) Although the design principles are well grounded in literature and practice both, I would like to discuss their completeness, e.g. including findings from other research areas. (2) As the traditional BM canvas is easy to use, I want to discuss, how abstract the tool should be, as there is a payoff between functionality and usability. (3) In addition to (2), but also in general I would like to address the following question: Which degree of automation should be included in the tool as there is a payoff between loss of control and effort to model BM for users. (4)

References

[AA10] Al-Debei, Mutaz M.; Avison, David (2010): Developing a unified framework of the

business model concept. In: European Journal of Information Systems 19 (3).

[Bh12] Bhattacherjee, Anol (2012): Social science research: principles, methods, and practices.

[EBL16] Ebel, Philipp; Bretschneider, Ulrich; Leimeister, Jan Marco (2016): Leveraging virtual business model innovation. A framework for designing business model development tools. In: Information Systems Journal 26 (5), S. 519–550. DOI: 10.1111/isj.12103.

[JCK08] Johnson, Mark W.; Christensen, Clayton M.; Kagermann, Henning (2008): Reinventing your business model. In: Harvard business review 86 (12), S. 57–68.

[LR13] Lindgren, Peter; Rasmussen, Ole Horn (2013): The business model cube. In: Journal of Multi Business Model Innovation and Technology 1 (2), S. 135–182.

[OP10] Osterwalder, Alexander; Pigneur, Yves (2010): Business model generation. A handbook for visionaries, game changers, and challengers. Toronto.

[Pe12] Peffers, K.; Rothenberger, M.; Tuuanen, T.; Vaezi, R. (Hg.) (2012): Design science research evaluation. International Conference on Design Science Research in Information Systems: Springer.

[Te10] Teece, David J. (2010): Business Models, Business Strategy and Innovation. In: Long Range Planning 43 (2-3), S. 172–194. DOI: 10.1016/j.lrp.2009.07.003.

[Ti98] Timmers, P. (1998): Business Models for Electronic Markets. In: Electronic Markets 8., 1998 (2), S. 3–8.

[VK04] Vaishnavi, V.; Kuechler, W. (2004): Design Science Research in Information Systems.

[Ve14] Veit, D.; Clemons, E.; Benlian, A.; Buxmann, P.; Hess, T.; Kundisch, D. et al. (2014): Business Models - An Information Systems Research Agenda. In: Business & Information Systems Engineering.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 2365

Knowledge-driven Architecture Composition: On the usage of case-based formalization methods for reliable and automated component coupling

Fabian Burzlaff [1]

Abstract: Automating component coupling has been around for various decades. In fact, in the last few years' interface and component matching progress seems not to be regarded as a hot-topic in research. However, reappearing paradigms such as decentralized and flexible production scenarios are again in need for automated system coupling. This is mainly due to the increasing number of heterogeneous devices. Building upon existing component integration research, this PhD project introduces case-based reasoning techniques for formalizing integration knowledge to overcome standardization requirements. As a consequence, integration knowledge becomes reusable.

Keywords: Knowledge-driven architecture composition, Interoperability, Semantic Integration, Dynamic Adaptable Systems, Industrial Internet of Things

1 Motivation and Problem statement

In current trends, such as Industrial Internet of Things (IIoT), information technology is postulated to merge with classical automation techniques. For example, so called "Cyber-Physical Systems" are therefore equipped with high-level programming interfaces. Current information modelling frameworks like OPC-UA[2] provide means to create industrial information models and establish a secure communication between heterogeneous machines. However, industry also still relies on informal integration standards. Especially integration tasks in automation scenarios are still executed mostly by humans as soon as syntax and/or semantics of two interfaces differ. Enforced by the rising demand for connecting decentralized production machines and executing dynamic, adaptable processes with low batch sizes, manual integration tasks may slow down or even hinder future process automation.
For long time, solutions for automated component coupling have been proposed in service-based and component-based research communities [Va16] [Pl16] [Vi07]. On the one hand, semantic service descriptions with formalized semantics such as W3C Recommendation for "Semantic Annotations" for Web-Service-Description-Language (e.g. SAWSDL[3] or WSDL-S[4]) have already been tested in various applications scenarios [Vi07]. On the other

[1] University of Mannheim, Institute for Enterprise Systems, L15 1-6, 68131 Mannheim, burzlaff@es.uni-mannheim.de
[2] https://opcfoundation.org/about/opc-technologies/opc-ua/
[3] https://www.w3.org/TR/sawsdl/
[4] https://www.w3.org/2005/04/FSWS/Submissions/17/WSDL-S.htm

doi:10.18420/in2017_240

hand, interface matching techniques and component models (e.g. CORBA[5]) have also produced a lot of valuable results [Va16] [Pl16]. In addition, other approaches for component discovery exist. Hummel [Hu08] has developed test-driven techniques for semantically identifying general software components.
Nevertheless, completely formalizing a service or interface (e.g. pre- and post-conditions or quality attributes) requires a distinct amount of manual work. As component providers can hardly anticipate for which usage-context a component will be requested, such formalization techniques quickly consume (too) much work with no direct benefit for component providers (i.e. their semantics must be "fully" formalized for each possible customer use-case). However, by interconnecting more and more devices industry is particularly in need for an automated and reliable component coupling mechanism to meet increasing market- and customer-demands.

Hence, there is a dilemma between huge efforts for creating complete, (un)-standardized semantic component specification and the rising amount of required point-to-point integrations (e.g. realized by adapters). Based on the assumption that an overall semantic standardization for certain industry branches (e.g. plant engineering) opposed to other branches (e.g. AUTOSAR[6] for automotive) is not feasible, current academic interface formalization approaches are not practical. This PhD project explicitly allows for incomplete, case-based interface formalization and can be summarized as:

> "How can software components be semantically coupled in an automated way based on partially incomplete integration knowledge?"

2 Solution Approach



Figure 1: Problem-Solution Space

Due to the increasing speed of technological innovations, it will be hard to come up with up-to-date semantic interoperability standards. Case-based reasoning (CBR) methods seems to be a reasonable approach for tackling the problem of slow semantic standardization processes from upside down [AgPl94]. However, as solution for new integration cases are only loosely coupled to previous solutions using similarity measures like "nearest neighbour" (c.f. Figure 1), a high reliability cannot be achieved within the traditional approach. This means that input and output descriptions in the knowledge base (KB) must be expressive but also reliably decidable (**RQ1**).
Although ontologies for meeting high reliability demands in production scenarios seem to be a promising approach for capturing integration cases, it is not clear whether deductive, closed-world reasoning approaches to derive new integration rules are usable (c.f. Fig. 2 - Revise). Similarity measures are not applicable for case revision as automated component coupling can only take place based on secured facts. Thus, efficiently deriving integration rules and KB consistency checks must be evaluated (**RQ2** and **RQ3**).

[5] http://www.omg.org/spec/CCM/
[6] https://www.autosar.org/

In order to reuse derived integration knowledge for automated component coupling of previously unknown components, a suitable software engineering approach is needed. This engineering approach must provide means for transforming declarative integration knowledge into imperative – at best even into deployable - code (**RQ4**).
As a restriction, we do not focus on technical or protocol specific integration issues as our approach assumes a suitable middleware (e.g. an Enterprise Service Bus). Furthermore, fuzzy interface matching techniques can be used for component suggestion but not for automating component coupling. Available adaptation techniques can be reused, but must be adapted for processing declarative integration rules (c.f. Fig.2 - Solution)

Despite the need for manual component integration executed by humans in the beginning, inserting formalized integration knowledge evolutionary in a suitable KB can result in automated component coupling without depending on slow standardization process. This can ultimately result in a minimized, manual point-to-point integration

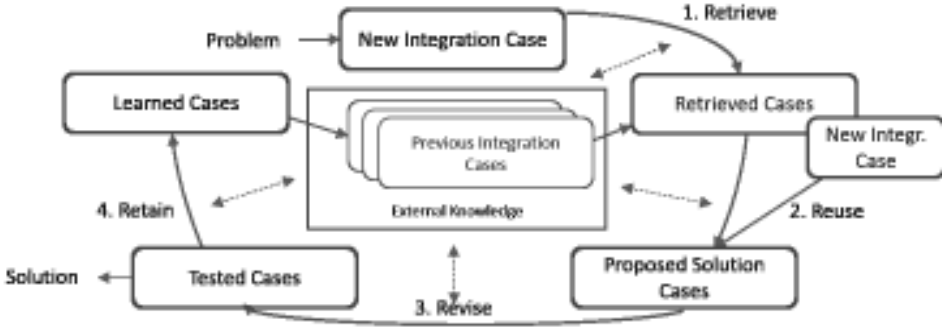


Figure 2: Traditional Case-based Reasoning Cycle, adapted from[AaPl94]

3 Related work

To tackle the proposed problem, several mature research streams can be considered. For this PhD project, especially CBR, schema matching for integration scenarios and component adaptation are currently regarded as relevant.

3.1 Case-based reasoning methods

CBR and its foundations were first mentioned by Aamodt and Plaza in 1994 [AgPl94]. They introduced a problem-based learning method that derives solution for new problems based on similar and already solved problems. As cases are retrieved based on a continuous similarity measure, proposed solution may only be partially correct. Although domain-specific adaptation knowledge can be learned and thus improve component adaptation [CNR06], the proposed solution must always be verified during application. Thus, deductive inference mechanisms (e.g. Pellet[7]) have been incorporated into the CBR

[7] https://github.com/stardog-union/pellet

process. As a result, case definitions as well as case retrieval have been significantly improved (i.e. high similarity measure) [BM03]. CBR supported by ontologies has been successfully applied in the field of medicine and biology, for instance to correctly diagnose multiple cancer types [Be11].

Although distinct component integration tasks can theoretically be interpreted as cases as well, explicitly defined integration rules, which can be reasoned about, are not present in the traditional CBR approach. Furthermore, the intended functionality to reason about the semantics of integration rules explicitly in a reliable way is new as *these* semantics are typically implicitly defined in similarity measures or domain-specific adaptation rules.

3.2 Schema matching for integration scenarios

Schema-matching techniques for information models evolved from database communities into various other information engineering discipline. For example, ontologies are often used for information integration scenarios as they offer features to reason about the semantics of schema elements [Wa01]. Furthermore, Niepert et al. [Ni11] developed an approach for ontology matching where semantic characteristics are already considered during the matching process. The logic- and probabilistic-based computation of the most "equal" ontology could be further improved by interactive integration tools [SNF12].
Researchers from component-based communities have dealt with different levels of formalized semantic service descriptions. Platenius [Pl16] developed a tool-based approach for combining different matching techniques for arbitrary formalized service specifications. They propose the concept of "fuzzy matching" for dealing with uncertainty where the produced results are then further processed by the user (i.e. service integrator).

Both, information integration based on ontologies as well as fuzzy service specification matching do need user input during their matching task to deal with uncertainty. However, this is not possible for automated component coupling scenarios.

3.3 Component adaptation

As soon as a component mismatch occurs (e.g. syntactic signature mismatch), engineering approaches for component adaptation are needed. These are typically executed by a system integrator or automated to a certain degree [BOR04] [HA10]. Becker et al. [Be06] describes basic steps of an engineering approach for component adaptation. They distinguish between the mismatch types "Technical-Signature-Protocols-Concepts" as well as "Quality Attributes". Next, they propose different imperative programming patterns for each mismatch type (e.g. Adapter). Hummel et al. [Hu08] [HA10] introduced an approach for automatically generating all syntactically feasible adapters for a provided and required interface constellation and select the "the most semantically" correct one by running test cases. This approach can already solve mismatches types like naming of methods or ordering of parameters.

Although these approaches propose multiple solutions to re-occurring integration

problems, no sophisticated solution for automated and reliable component adaptation "on-the-fly" is known. Currently, (in-) formal standards, if available, are used for automating component coupling in dynamic adaptive systems. Otherwise, time-consuming point-to-point adapters must be programmed.

4 Research challenges

In order to tackle our research problem, we focus on the following research questions:

RQ1. What characteristics must a suitable description language fulfil for capturing integration cases as well as integration rules (i.e. representation of integration rules and integration cases)?

RQ2. How can integration rules be derived from an integrated ontology (i.e. not on feature-similarity but on reliable case facts)?

RQ3. What are suitable knowledge-management techniques for updating partially-incomplete integration KBs (e.g. interfaces with same syntax but different semantics)?

RQ4. Which steps must an integrator fulfil to reuse formalized integration knowledge?

5 Status quo and next steps

Our approach for case-based formalization of integration knowledge making integration knowledge reusable has been presented at ICSA [BB17]. Next, we will focus on a literature review answering **RQ1** and **RQ2** (until end of 2017). **RQ3** will deal with test-based assessments to ensure KB consistency, but not knowledge-management techniques in general (until mid of 2018). A suitable engineering approach will be constructed and evaluated by case studies (**RQ4**). Exemplary evaluation criteria are "Time to formalize integration knowledge against existing approaches" or "Covered integration cases" for measuring the expressiveness of our language and the amount of integration cases needed for automated component coupling. The technical feasibility of this approach will be estimated by a prototypical implementation (until end of 2019).

References

[AaPl94] Aamodt, Agnar, and Enric Plaza. "Case-based reasoning: Foundational issues, methodological variations, and system approaches." AI communications 7, no. 1 (1994): 39-59.

[BB17] Burzlaff, Fabian, and Christian Bartelt. "Knowledge-Driven Architecture Composition: Case-Based Formalization of Integration Knowledge to Enable Automated Component Coupling." In Software Architecture Workshops (ICSAW), 2017 IEEE International Conference on, pp. 108-111. IEEE, 2017.

[Be06] Becker, Steffen, Antonio Brogi, Ian Gorton, Sven Overhage, Alexander Romanovsky, and Massimo Tivoli. "Towards an engineering approach to component adaptation." In Architecting Systems with Trustworthy Components, pp. 193-215. Springer Berlin Heidelberg, 2006.

[Be11] Begum, Shahina, Mobyen Uddin Ahmed, Peter Funk, Ning Xiong, and Mia Folke. "Case-based reasoning systems in the health sciences: a survey of recent trends and developments." IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews) 41, no. 4 (2011): 421-434.

[BM03] Bergmann, Ralph, and Martin Schaaf. "Structural case-based reasoning and ontology-based knowledge management: A perfect match?." J. UCS 9, no. 7 (2003): 608-626.

[BOR04] Becker, Steffen, Sven Overhage, and Ralf H. Reussner. "Classifying software component interoperability errors to support component adaption." In International Symposium on Component-Based Software Engineering, pp. 68-83. Springer Berlin Heidelberg, 2004.

[CNR06] Craw, Susan, Nirmalie Wiratunga, and Ray C. Rowe. "Learning adaptation knowledge to improve case-based reasoning." Artificial Intelligence 170, no. 16-17 (2006): 1175-1192.

[HA10] Hummel, Oliver, and Colin Atkinson. "Automated creation and assessment of component adapters with test cases." In International Symposium on Component-Based Software Engineering, pp. 166-181. Springer Berlin Heidelberg, 2010.

[Hu08] Hummel, Oliver. "Semantic component retrieval in software engineering." PhD diss., Universität Mannheim, 2008.

[Ni11] Niepert, Mathias, Jan Noessner, Christian Meilicke, and Heiner Stuckenschmidt. "Probabilistic-logical web data integration." In Reasoning Web. Semantic Technologies for the Web of Data, pp. 504-533. Springer Berlin Heidelberg, 2011.

[Pl16] Platenius, Marie Christin. "Fuzzy matching of comprehensive service specifications." PhD diss., Dissertation, Paderborn, Universität Paderborn, 2016, 2016.

[SNF12] Stuckenschmidt, Heiner, Jan Noessner, and Faraz Fallahi. "A Study in User-centric Data Integration." In ICEIS (3), pp. 5-14. 2012.

[Va16] Vale, Tassio, Ivica Crnkovic, Eduardo Santana de Almeida, Paulo Anselmo da Mota Silveira Neto, Yguaratã Cerqueira Cavalcanti, and Silvio Romero de Lemos Meira. "Twenty-eight years of component-based software engineering." Journal of Systems and Software 111 (2016): 128-148.

[Vi07] Vitvar, Tomas, Adrian Mocan, Mick Kerrigan, Michal Zaremba, Maciej Zaremba, Matthew Moran, Emilia Cimpian, Thomas Haselwanter, and Dieter Fensel. "Semantically-enabled service oriented architecture: concepts, technology and application." Service Oriented Computing and Applications 1, no. 2 (2007): 129-154.

[Wa01] Wache, Holger, Thomas Voegele, Ubbo Visser, Heiner Stuckenschmidt, Gerhard Schuster, Holger Neumann, and Sebastian Hübner. "Ontology-based integration of information-a survey of existing approaches." In IJCAI-01 workshop: ontologies and information sharing, vol. 2001, pp. 108-117. 2001.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 2371

Anomaly Detection in Log Data using Graph Databases and Machine Learning to Defend Advanced Persistent Threats

Timo Schindler[1]

Abstract: Advanced Persistent Threats (APTs) are a main impendence in cyber security of computer networks. In 2015, a successful breach remains undetected 146 days on average, reported by [Fi16]. With our work we demonstrate a feasible and fast way to analyse real world log data to detect breaches or breach attempts. By adapting well-known kill chain mechanisms and a combine of a time series database and an abstracted graph approach, it is possible to create flexible attack profiles. Using this approach, it can be demonstrated that the graph analysis successfully detects simulated attacks by analysing the log data of a simulated computer network. Considering another source for log data, the framework is capable to deliver sufficient performance for analysing real-world data in short time. By using the computing power of the graph database it is possible to identify the attacker and furthermore it is feasible to detect other affected system components. We believe to significantly reduce the detection time of breaches with this approach and react fast to new attack vectors.

Keywords: Advanded Persistent Threat; Graph Database; Intrusion Detection; Machine Learning; Support Vector Machines; Kill Chain

1 Introduction

Over the last 10 years, Vukalovic et al. show that a significant increase of Advanced Persistent Threats (APTs) on companies in all industries can be observed [VD15]. The Verizon Data Breach Investigations Report [Ve16] claims that nearly 100% of all compromises are happening in less than a day, where only about 10% of those compromises are discovered in a day or less. The Fireeye report [Fi16] also shows that security breaches of computer systems in 2015 remained undiscovered for 146 days in average. In addition to that the recent security breach at thyssenkrupp reported by [Ju16] and [Fi17], with a time period of 45 days between breach and detection, shows that attackers have enough time to interact undetected in an intruded system.

The report of [Fi16] furthermore illustrates that only 47% of the reported compromises are detected by an internal discovery. Regarding APTs the attacker is aware of the defense mechanisms and will camouflage his actions. Still every attack creates anomalies or changes the behaviour of user accounts which is represented in the raw log data. To achieve a APT detection, all log data is analysed continuously, to create a profile, which represents regular

[1] OTH Regensburg, Laboratory for Information Security, Regensburg, Germany timo.schindler@othr.de

doi:10.18420/in2017_241

behaviour, where no attack takes place. Both, the profile creation and the consolidation of the raw log data is achieved with graph databases by using an adjusted kill chain model. With this kill chain model it is possible to identify different attack vectors and increase the precision of the detection rate. By introducing an abstracted event sequence layer, flexibility in detecting divergent attacks is added to the graph database model and is an efficient way to interpret multiple linked log events. To create and test this attack vectors, a simulator is used to create malicious and clean (without attacks) raw log data.

2 State of the Art

Intrusion Detection or Inrustion Prevention Systems (IDS and IPS) are widespread approaches to detect security breaches or attacks ([De17, Ch17]). Considering [LKT15] IDS are developed for signature and/or anomaly detection. For signature detection, packets or audit logs are scanned to look for sequences of commands or events which are previously determined as indicative of an attack. Recently researchers are also working on innovative approaches including data mining, statistical analysis and artificial intelligence techniques (see [LKT15]; [Ma05]; [SZH05]; [CAY07]). Alongside IPS/IDS Security Information and Event Management (SIEM) is a widely used approach to gain security in companies and are also object of current research [Ye13]. [LKT15] listed recent related work focusing on the task of anomaly detection based on various data mining and machine learning techniques. Most studies are using the KDD-Cup 99 [RI00] or DARPA 1999 [Li00] datasets. In the field of research and also in existing solutions, data protection is no or just a minor issue.

3 Objective

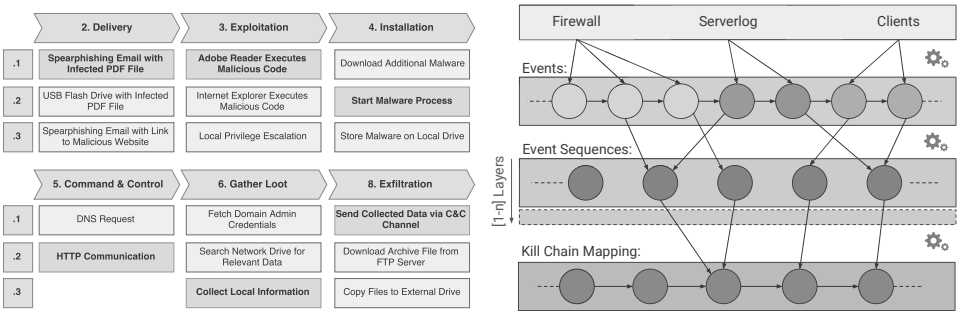
The objective of this work is to create a feasible and efficient solution to analyse various sets of log data and detect APT attacks in a reliable way. The graph database approach demonstrates a way to analyse multiple interrelated log events in a structured an straightforward process. To achieve this, an abstraction layer is introduced, which is capable to react on divergent and looping log events. By using a adapted kill chain model, different attack vectors can be identified. This leads to a high level of confidence for the case that several kill chain elements are met subsequently. The created framework uses a state of the art SIEM system and widely used database solutions for fast data processing. To comply to the German Federal Data Protection Act (§3a BDSG[2]) all user related data has to be pseudonymised and the framework is able to to work with pseudonymised data without limitations on precision. We proof that this work leads to a flexible way to detect anomalies from raw log data and is capable to be adjusted to several other Advanced Persistent Threats.

[2] Bundesdatenschutzgesetz, Federal Data Protection Act

4 Graph based Kill Chain Analysis

To define different attacks or attack approaches, an adjusted kill chain is used. In the kill chain process all steps of an adversary and its targets are described by a series of events. The concept originates from US Department of Defense [U.07], has been adjusted by Hutchins [HCA11] and refined by Uetz [Ue17] (see figure 1a). Figure 1a shows the adjusted kill chain model[3] with deviating attack vectors[4]. Every kill chain item represents a weak Indicator of Compromise (IoC), a signature which is used to detect a potentially compromised system [Fo16]. This makes it possible to identify different characteristics of APT attacks and react to different approaches like '2.1: Delivery with Spearphishing Email' and '2.2: Delivery with USB Flash Drive' (see fig. 1a).

Graph-based Forensic Analysis The adjusted kill chain model has been implemented as directed graph. Figure 1b shows the graph-database model where log events in chronological order representing the first layer (*Events*, blue). In most cases, an indicator is built of several log events. Thus, a direct matching of log event to a kill chain element is not intended. Between kill chain elements and log events, *n* intermediate layers (*event sequences*) are established (purple). It is possible to create several layers of event sequences and also to use loops to illustrate the fact, that *n* similar events can create a single event sequence. If several corresponding event sequences match to the defined kill chain elements, an APT can be detected by analysing previous or following elements and their corresponding matches. After a cyber attack is detected, it is possible to reconstruct the attack graph and find the security leak(s) and the corresponding victims.



(a) Adjusted Kill Chain with an Example APT (b) Kill Chain Event Mapping with Event Sequences

Fig. 1: Detecting APT using Kill Chain Model in a Graph Database

Anomaly Detection based on Machine Learning Besides graph analysis, statistical and machine learning methods are considered to identify attack vectors. For this approach, in a

[3] The kill chain elements "1. Reconnaissance" and "7. Prepare Exfiltration" are not displayed.
[4] The green highlighted items are representing a specific APT and will be used later.

first step windows log entries (e.g. login attempts or session times), firewalls and file audits are taken into account. The SVM analysis is used to detect anomalies in the user behaviour evoked by APT processes on the users machine. The collected data is processed by several SVMs and a profile based on the normal user behaviour is created. The machine learning mechanism detects anomalies, based on the learned normal behaviour.

5 Proof of Concept Case Study

A specific APT is used to proof the detection concept: *Infecting a Windows system by executing malicious code located in an PDF file delivered by an infected spearphishing email, with the goal to exfiltrate all JPEG files.* For this purpose two sets of log data sources are used: A security laboratory (SecLab) for students with about 13 workstations, a domain controller, firewall and proxy. A framework to simulate corporate networks and cyber attacks with an arbitrary number of clients.

The logs of the above sources are aggregated with a state of the art commercial SIEM system[5]. While following processing the log data gets pseudonymised, normalised and stored in a InfluxDB instance, a time series database and the main source for all analysis. To be able to revoke the pseudonymisation, the framework uses a combination of a RSA cryptosystem and [Sh79] secret sharing.

Graph-based Forensic Analysis To be able to create log data of predefined attacks on a simulated company network and easily set the same conditions for repetitive runs of these attacks, the BREACH framework by Uetz et al. [Ue17] is used as one log source set. The BREACH framework is being developed by FKIE[6] in cooperation with OTH Regensburg. The framework is capable to simulate various attack vectors and can also simulate normal user behaviour in a companies network fully controlled by the framework. The simulator consists of a set of virtual machines simulating a medium sized enterprise network infrastructure with about 100 users. All activities are logged and with the intrusion reconstruction every step of the attack can be identified. Figure 1a shows the specific kill chain structure which is used in the case study (highlighted, green). The detection of the example APT requires further analysis.

While the email is delivered to the client machine, the attacker starts a generic HTTP handler which runs in standby mode initially and waits for incoming connections. The exploit *Adobe Cooltype Sing* described in [MI10] is used. Through the handler further instructions can be delivered to the target. In this case study the executed code searches for all JPEG image files on the local hard drive and send them to the attacker.

[5] Prolog, NETZWERK Software GmbH

[6] Fraunhofer-Institute for Communication, Information Processing and Ergonomics (FKIE), Bonn, Germany

All log data will be stored in the InfluxDB. While being processed with by graph database, new nodes are created for all involved machines and the algorithm matches the events to the affected sources. This leads to a concatenated list of all events in a time period which are connected to the machines they are caused by. The used algorithm for the graph analysis reveals if a kill chain has been fulfilled completely or just parts of it. A complete kill chain indicates a successful breach by the APT. Partly filled kill chains can be further investigated, if a similar attack vector is used, and are a first evidence for attacks.

Anomaly Detection based on Machine Learning The anomaly detection with machine learning mechanisms is based on data of both data sources. For the used SVMs and one-class SVMs both classifications, clean and malicious log data is needed. While a normal SVM separates multiple predefined classes from each other, a one-class SVM is trained by the data of one class and separates it from the data distinguishable from this class. The feature vectors are based on file-audit, windows events (logon, logoff) and firewall logs. For this malicious web traffic is generated with the BREACH framework coupled with manual malicious downloads in the SecLab.

6 Evaluation

Considering our case study the graph database has successfully created event sequences and linked the associated kill chain elements. The shown attack involved the extraction of example confidential data, in this case JPEG files. The amount of the extracted files is not known beforehand. The algorithm managed to identify the attack correctly with a variable amount of confidential data.

Figure 2 shows the graphical result representation of the graph analysis in Neo4j[7]. The graph analysis successfully identifies the adversary (IP 172.18.0.3) of the simulation. The example analysis is based on a simulated attack to one client with 1228 extracted log events (about 10 minutes of log data). In a real world scenario much more log events even for a short period of time are created and need to be processed by the graph database. With the second log source, the SecLab, it is possible to provide a realistic log data situation.

The research with the SVMs and one-class SVMs has shown a high accuracy from 95.33% to 98.67% when detecting anomalies in the log data. It could be shown that in this case, the one-class SVMs had better results which can be traced back to a high amount of clean log data. The data has shown, that there is a higher rate of detection in simulator data than in user created data which can be related to a more divergent behaviour of real world log data. The SecLab data source is producing about 5 million events per week but simulations have shown that the SVM approach is also capable to analyse a much higher volume of log events. To proof this, the data has been expanded with pseudo random data to proof the scalability.

[7] Figure 2 only shows a simplified representation for demonstration propose.

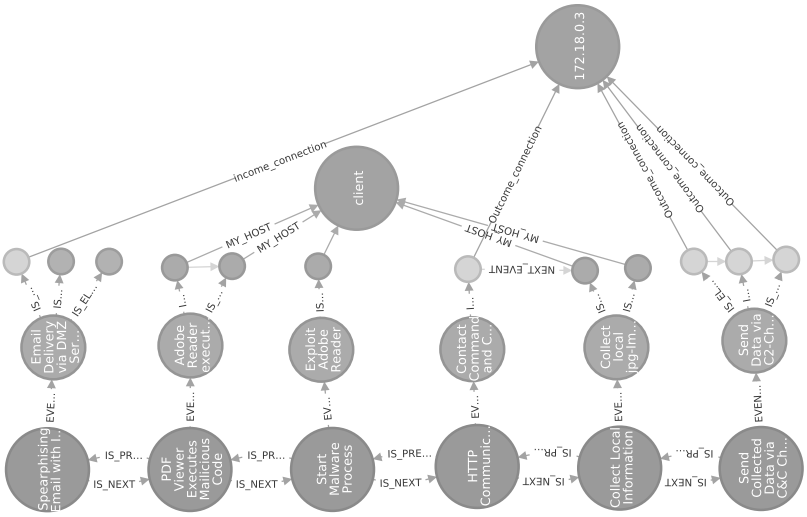


Fig. 2: Result of Graph Analysis for APT

7 Conclusion and Future Work

The purpose of this paper is to demonstrate that the use of a graph database is a practicable way for a forensic analysis of log data. We have shown that the abstracted event sequence graph model for matching to a kill chain improves the automatic forensic analysis of log data. To achieve this we have proposed an adjusted kill chain model as profound Indicator of Compromise. To prove the theoretical concept, this framework was tested with an example attack model and successfully detects the breach. We believe that this method is suitable for a variation of different APT attack vectors due to its flexibility.

The research with SVMs has already proven to be suitable to analyse massive log data and return a high detection rate of anomalies. In the ongoing research we want to focus on machine learning for automatic detection of attack patterns and the creation of new attack sequences. For this approach we can use the different data sources for tagged attacks and clean log data. In addition to that, we will implement a fraud detection with fraud rings. This approach will help to find connections between affected systems and to identify potential additional breach victims. One major challenge to overcome is the high variety of log data from different sources. To achieve a fast and reliable framework we want to normalise and enrich the log data with additional information.

References

[CAY07] Chen, Yuehui; Abraham, Ajith; Yang, Bo: Hybrid flexible neural-tree-based intrusion detection systems. International Journal of Intelligent Systems, 22(4):337–352, 2007.

[Ch17] Check Point: Intrusion Prevention System Software Blade. January 2017.

[De17] Dell Technologies: Managed IDS/IPS. January 2017.

[Fi16] FireEye Inc.: M-Trends Security Report 2016. February 2016. Visited: 2016/10/1.

[Fi17] Financial Times Ltd: ThyssenKrupp reveals data stolen in cyber attack. January 2017.

[Fo16] Fowler, Kevvie: Data Breach Preparation and Response: Breaches are Certain, Impact is Not. Elsevier Science, 2016.

[HCA11] Hutchins, Eric M.; Cloppert, Michael J.; Amin, Rohan M.: Intelligence-Driven Computer Network Defense Informed by Analysis of Adversary Campaigns and Intrusion Kill Chains. 6th Annual International Conference on Information Warfare and Security, (July 2005):1–14, 2011.

[Ju16] Juergen Berke: Warum Unternehmen eine eigene Cyberabwehr brauchen. December 2016.

[Li00] Lippmann, Richard; Haines, Joshua W; Fried, David J; Korba, Jonathan; Das, Kumar: The 1999 DARPA off-line intrusion detection evaluation. Computer Networks, 34(4):579–595, oct 2000.

[LKT15] Lin, Wei-Chao; Ke, Shih-Wen; Tsai, Chih-Fong: CANN: An intrusion detection system based on combining cluster centers and nearest neighbors. Knowl.-Based Syst., 78:13–21, 2015.

[Ma05] Marin, G. A.: Network security basics. IEEE Security Privacy, 3(6):68–72, Nov 2005.

[MI10] MITRE Corporation: CVE-2010-2883. July 2010.

[RI00] Rosset, Saharon; Inger, Aron: KDD-cup 99. ACM SIGKDD Explorations Newsletter, 1(2):85, jan 2000.

[Sh79] Shamir, Adi: How to Share a Secret. Commun. ACM, 22(11):612–613, November 1979.

[SZH05] Sarasamma, S. T.; Zhu, Q. A.; Huff, J.: Hierarchical Kohonenen net for anomaly detection in network security. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B (Cybernetics), 35(2):302–312, April 2005.

[U.07] U.S. Department of Defense: Joint Publication 3-60 Joint Targeting. 2007.

[Ue17] Uetz, Rafael; Benthin, Luis; Hemminghaus, Christian; Krebs, Steffen; Yilmaz, Tayfun: BREACH: A Framework for the Simulation of Cyber Attacks on Company‘s Networks. In: Digital Forensics Research Conference Europe (Poster). 2017.

[VD15] Vukalović, J.; Delija, D.: Advanced Persistent Threats - detection and defense. In: 2015 38th International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO). pp. 1324–1330, May 2015.

[Ve16] Verizon: Data Breach Investigations Report. 2016.

[Ye13] Yen, Ting-Fang; Oprea, Alina; Onarlioglu, Kaan; Leetham, Todd; Robertson, William; Juels, Ari; Kirda, Engin: Beehive: Large-scale Log Analysis for Detecting Suspicious Activity in Enterprise Networks. In: Proceedings of the 29th Annual Computer Security Applications Conference. ACSAC '13, ACM, New York, NY, USA, pp. 199–208, 2013.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 2379

Toward Cost-Effective Business Process Compliance: A Research Agenda

Stephan Kühnel[1]

Abstract: Checking and ensuring business process compliance (BPC) can be very costly, especially given redundant or conflicting compliance requirements or intensive regulation in general. Although managing BPC in a cost-effective way is critical for organisations, corresponding methods and procedures are lacking. This paper outlines a research agenda for developing a mathematical method and a procedural model for assessing the cost-effectiveness of BPC. The research agenda bases on design science research (DSR) paradigm and describes the implementation of corresponding DSR steps according to Peffers et al.

Keywords: business process compliance, cost-effectiveness, research agenda

1 Introduction

Compliance can be characterised as the act of ensuring that business practices and operations conform to a set of requirements arising from regulations such as laws, directives, internal guidelines, etc. [SG15]. Ensuring compliance within the conceptualisation and execution of business processes is known as business process compliance (BPC) [SG15, FZ14]. Checking and ensuring BPC can be exceptionally complex and expensive, even with the support of information technology (IT), especially given a variety of redundant or conflicting compliance requirements. Such redundancy and divergence in requirements can prompt high compliance-related costs (particularly for IT and human resources) as well as problems for companies, including the deterioration of profit or obstructions to the core business [KSS17].

Approaches to checking BPC seek to confirm business processes against formally expressed regulatory requirements or so-called compliance rules by using, for example, process verification tools [Sc10]. Such approaches address a variety of checking scopes, including time, information, resources, control flows, or location-based aspects [FZ14], and consider compliance from a rather technical view [Sc13]. However, if costs are taken into account, for instance to determine the cost-effectiveness of compliance measures, then the approaches reach their limits. Cost-effectiveness, also known as economic efficiency, refers to the economic principle of striking a balance between benefits and cost [KBS09]. Considering the cost-effectiveness of BPC is particularly important when economic deci-

[1] Martin Luther University Halle-Wittenberg, Chair of Information Management, Universitätsring 3, 06108 Halle (Saale), stephan.kuehnel@wiwi.uni-halle.de

doi:10.18420/in2017_242

sions need to be made. Following the idea of reusability [Sc10, NS07], a plurality of compliance measures, including various compliance controls [NS07] and compliant process fragments [Sc10], can be used and even combined [KSS17] in order to ensure compliance in diverse business processes. For instance, the German Banking Act §18 KWG prescribes the requirement of confirming the creditworthiness of borrowers who take out large loans. Several compliance measures are available to fulfil that requirement, including software-based credit checks, manual credit checks performed by employees with different qualifications or roles, or combinations of both. Since those measures differ in terms of effectiveness and cost, they raise the dilemma of choosing an appropriate cost-effective alternative. Although [Sc13] and [SG15] have pointed out that managing BPC in a cost-effective way is critical for organisations, corresponding methods and procedures are lacking. The cost-effectiveness of a business process, which serves the core business and contributes directly to value, needs to be distinguished from the cost-effectiveness of compliance measures, particularly in terms of compliance activities. Since compliance activities and business processes are interwoven, developing a method of assessing the cost-effectiveness of BPC is challenging. In response, this research project seeks to develop both a mathematical method of assessing the cost-effectiveness of compliance measures in terms of compliance activities regardless of the business process and a corresponding procedural model. To those ends, the project poses two research questions (RQ):

- RQ 1: *How should a method for determining cost-effectiveness be designed in order to assess compliance measures of business processes?*
- RQ 2: *How can both economic benefits and associated costs be adequately determined for assessing compliance measures of business processes?*

The remainder of this paper is structured as follows. Section 2 describes the research method and agenda, both of which derive from the design science research (DSR) paradigm [Pe07]. Section 3 discusses both already achieved and future expected research results, after which Section 4 closes with a brief summary and an outlook for future work.

2 Research Method and Agenda

The DSR paradigm describes a systematic structure for artefact development in which artefacts are constructs, models, methods, or instantiations [GH13]. Since this research project aims at developing a mathematical method and a procedural model, which can both be classified as artefacts, it follows the DSR approach of Peffers et al. [Pe07]. The DSR approach involves six steps: problem identification, objectives definition, artefact design and development, artefact demonstration, artefact evaluation, and communication [Pe07]. Figure 1 presents an overview of how those six steps are implemented within the scope of the research project and contains references to previous publications.

Step 1 involves deriving the problem statement, after which *Step 2* entails defining objectives intended to solve the problem. Both steps are theoretically grounded on literature

analyses of compliance measures (see [SKS17]), domain models for BPC (see [Kü17]), and calculation methods for cost-effectiveness (see [KSS17]). Based on a review of literature on the topic, the research project can be differentiated from related work. *Step 3*, which involves artefact design and development, includes several stages. First, a conceptual model is designed that encompasses domain-specific model elements, attributes, and methods for cost-effective BPC (see [Kü17]). The model is grounded in an analysis of previous literature and extends the conceptual structure of BPC checking to the aspect of cost-effectiveness. It also maps the operating principle of cost-effectiveness calculations in a BPC environment, serves as a conceptual foundation for deriving a procedural as well as corresponding mathematical approach and, thus addresses RQ1. Second, a procedural model is developed which serves the textual description of procedural steps for calculating the cost-effectiveness of BPC. Therefore, existing procedures for calculating the benefits and costs of other fields (for example, risk and investment theory) were investigated, verified, and adapted to BPC (see [KSS17]). Moreover, the procedural model clarifies how calculation results can be used for decision-making based on cost-effectiveness. Third, a new mathematical method for assessing the cost-effectiveness of compliance measures can be developed, which addresses RQ2. The method should be designed according to the methodological notes on mathematical modelling of [Me13] and in consideration of the conceptual structure of the previous domain model. Since the mathematical method has not yet been published, it is marked as [t.b.d.], meaning "to be done", in the column titled *Publication (Reference)* in Figure 1.

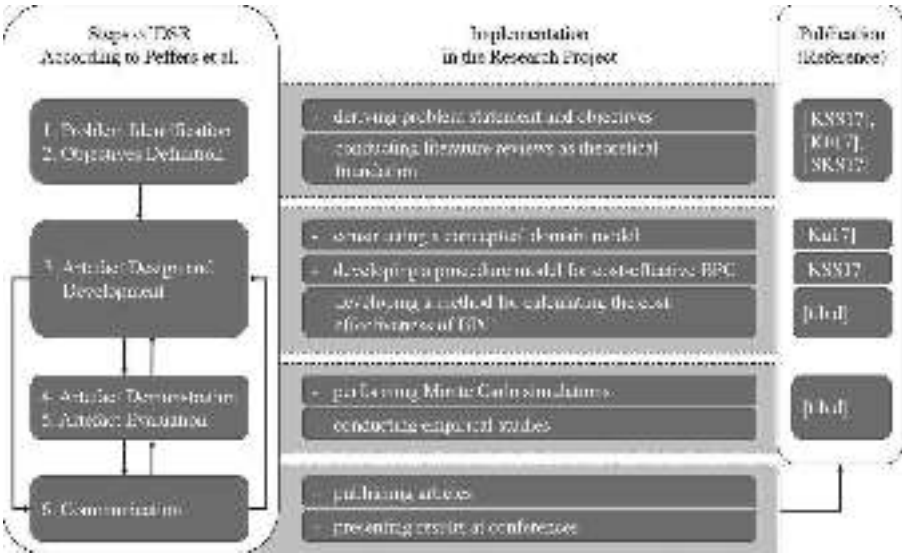


Fig. 1: Implementation of steps of the DSR paradigm in the research project

Steps 4 and *5* involve artefact demonstration and evaluation and should be addressed both by experimental and observational design evaluation methods. The experimental design evaluation should be executed through a Monte Carlo simulation of cost-effectiveness in

order to demonstrate the mathematical method with artificial data [GH13]. The observational design evaluation should be based on empirical studies, for example, on case studies. Such studies could be conducted, for example, considering the methodological notes on case study research by Eisenhardt [Ei89] and with companies operating in the financial services sector, since they are affected by numerous compliance requirements. The results of empirical studies should be used to improve the procedural model and the mathematical method in a new iteration and to investigate how well the artefact contributes to the problem solution. Since the results of Monte Carlo simulations and empirical studies have not yet been published, they are also marked as [t.b.d.] in the column titled *Publication (Reference)* in Figure 1. Lastly, *Step 6* involves communication with the research community. The research results should be communicated to researchers and relevant audiences [Pe07], ideally via publication in journals or proceedings and during presentations at conferences. The remarks of other researchers from peer reviews and discussions at conferences have already been used to further improve the research in several iterations, and future advice from the research community is expected to prompt additional iterations.

3 Knowledge Contributions

DSR allows the classification of research projects in terms of their contributions to current knowledge (Figure 2). The classification depends on the problem and solution maturity of the DSR project. Problem maturity is judged as low or high depending on whether it is a new or already known problem. Solution maturity is judged as low or high depending on whether new solutions need to be developed or known solutions are available [GH13].

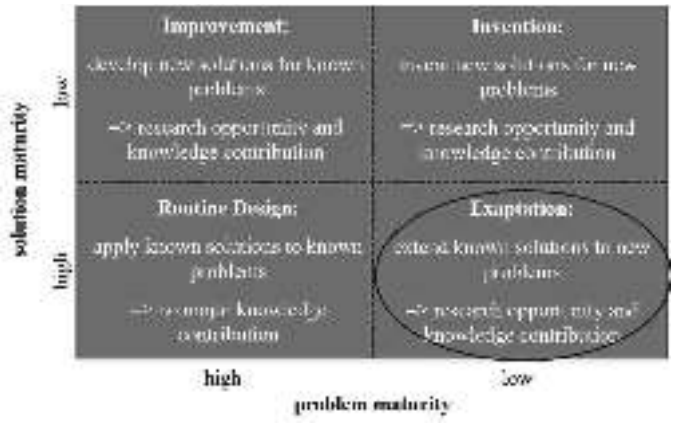


Fig. 2: Classification into the DSR knowledge contribution framework [GH13]

The research project can be classified as an *Exaptation*, since it builds upon current BPC checking approaches that provide a technical foundation for cost-effective BPC. The project also considers existing procedures for calculating benefits and costs of other domains,

including profitability and cost analyses of investment and risk theory [KSS17]. Therefore, the project demonstrates high solution maturity. However, existing approaches either originate from other domains and cannot be transferred directly to BPC or do not explicitly address the research gap. In contrast, the project poses low problem maturity. BPC is a relatively young area of research that scholars have seriously investigated only in the past decade [FZ14]. Because companies initially faced problems related to avoiding compliance violations, the chief focus of previous approaches was supporting the detection of such violations, as well as ensuring and validating compliance [FZ14]. The ever-increasing number of regulatory requirements [SG15] has precipitated a new problem, as avoiding compliance violations has become a cost-intensive task that can cause further deterioration of profit or pose obstructions to the core business [KSS17]. In response, the described exaptation of BPC approaches to include cost-effectiveness establishes a research opportunity and the potential to contribute knowledge. The anticipated and partly already realised contributions to knowledge are discussed below.

First, the literature analyses serve to classify related work, contribute to the descriptive knowledgebase [GH13], and have already been published in [SKS17], [Kü17], and [KSS17]. These analyses avoid the risk that the research gap is already addressed in previous approaches. Second, the conceptual model for cost-effective BPC contributes to the prescriptive knowledge base (artefact type: model) [GH13] and has already been published in [Kü17]. It includes domain-specific model elements, attributes, and methods of cost-effective BPC, maps the operating principle of cost-effectiveness calculations in a BPC environment, and serves as a conceptual foundation for deriving a procedural model and corresponding mathematical method. Third, the procedural model for cost-effective BPC contributes to the prescriptive knowledge base (artefact type: model) [GH13]. It describes prerequisites and work steps necessary to implement cost-effectiveness calculations in BPC and shows how calculation results can be used for decision-making. Moreover, it allows the derivation of strategies and recommended actions. Practitioners can use the procedural model to efficiently manage BPC in companies, while researchers can use it to extend BPC approaches to a procedural concept for cost-effectiveness. Initial ideas and results regarding the construction of the procedural model have been published in [KSS17]. Fourth, the mathematical method for calculating the cost-effectiveness of BPC contributes to the prescriptive knowledge base (artefact type: method) [GH13]. It is suitable for assessing the cost-effectiveness of, for example, compliance fragments [Sc10] or compliance controls [NS07]. Researchers can use the method to extend existing BPC checking approaches with corresponding calculations. The mathematical method also provides opportunities for practical application, for instance by identifying cost-effective compliance measures or inefficient compliance activities. An initial approach to assessing compliance controls was presented in [KS14]. A more complex mathematical method for BPC has already been developed but has yet to be published. Fifth, the results of Monte Carlo simulations and empirical studies contribute to the descriptive knowledge base [GH13] and are the subject of future research. Those evaluation methods will be used to investigate the applicability of the mathematical method and procedural model. Ultimately, benefits and limitations in application will be identified.

4 Conclusion

Although managing BPC in a cost-effective way is critical for organisations, corresponding methods and procedures are lacking. In response, this paper introduced a research agenda for developing a mathematical method and a procedural model to assess the cost-effectiveness of BPC. The necessary steps of the research project have been introduced, ways to implement those steps described, and both realised and expected findings discussed. The goal of future efforts is to implement the research agenda in full.

References

[Ei89] Eisenhardt, K. M.: Building Theories from Case Study Research. In Academy of Management Review, 1989, 14; S. 532–550.

[FZ14] Fellmann, M.; Zasada, A.: State-of-the-art of Business Process Compliance Approaches. In Proc. of the European Conference on Information Systems, 2014; S. 1-17.

[GH13] Gregor, S.; Hevner, A.: Positioning and Presenting Design Science Research for Maximum Impact. In MIS Quarterly (MISQ), 2013, 37; S. 337–356.

[KBS09] Kirzner, I. M.; Boettke, P. J.; Sautet, F. E.: The Economic Point of View. An Essay in the History of Economic Thought, Liberty Fund, Indianapolis, 2009.

[KS14] Kühnel, S.; Sackmann, S.: Effizienz Compliance-konformer Kontrollprozesse in internen Kontrollsystemen. In HMD Praxis der Wirtsch.-Inf., 2014, 51; S. 252–266.

[KSS17] Kühnel, S.; Sackmann, S.; Seyffarth, T.: Effizienzorientiertes Risikomanagement für Business Process Compliance. In HMD Praxis der Wirtsch.-Inf., 2017, 54; S. 124–145.

[Kü17] Kühnel, S.: Toward a Conceptual Model for Cost-Effective Business Process Compliance. In Proc. of the Informatik 2017, Lecture Notes in Informatics (LNI), 2017.

[Me13] Meerschaert, M. M.: Mathematical Modeling. Elsevier Science, 2013.

[NS07] Namiri, K.; Stojanovic, N.: Pattern-Based Design and Validation of Business Process Compliance, In Proc. of On the Move to Meaningful Internet Systems, 2007; S. 59–76.

[Pe07] Peffers, K. et al.: A Design Science Research Methodology for Information Systems Research. In Journal of Management Information Systems, 2007, 24; S. 45–77.

[Sc10] Schumm, D. et al.: Business Process Compliance through Reusable Units of Compliant Processes. In Proc. of the Int. Conference on Web Engineering, 2010; S. 325–337.

[Sc13] Schultz, M.: Towards an Empirically Grounded Conceptual Model for Business Process Compliance. In Proc. of the Int. Conference on Conceptual Modelling, 2013; S.138–145

[SG15] Sadiq, S.; Governatori, G.: Managing Regulatory Compliance in Business Processes. In Handbook on Business Process Management 2, Heidelberg, 2015; S. 159–175.

[SKS17] Seyffarth, T.; Kühnel, S.; Sackmann, S.: A Taxonomy of Compliance Processes for Business Process Compliance. In Proc. of the Business Process Management Forum, Lecture Notes in Business Information Processing (LNBIP), 2017.

Studierendenkonferenz Informatik 2017

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 2387

Studierendenkonferenz Informatik 2017 (SKILL 2017)

Michael Becker[1], Judith Michael[2], Thomas Riechert[3] und Johannes Schmidt[4]

Mit der diesjährigen Studierendenkonferenz Informatik (SKILL) wird die seit 2014 bestehende Zusammenarbeit mit der Gesellschaft für Informatik e.V. weiter vertieft. Bereits zum vierten Mal findet die SKILL im Rahmen der GI-Jahrestagung INFORMATIK statt.

Insgesamt wurden 37 Beiträge als Full oder Short Paper eingereicht und begutachtet. Auf der Konferenz haben die Verfasserinnen und Verfasser von 17 Beiträgen (14 Full und drei Short Paper) die Möglichkeit, ihre Arbeit zu präsentieren. Besonders hervorzuheben ist, dass dieses Jahr auch ein Beitrag von Schülerinnen und Schülern aus Leipzig eingereicht wurde.

Die Mitglieder des Organisationskomitees der SKILL 2017 bedanken sich zunächst bei den Autorinnen und Autoren, ohne deren qualitativ hochwertige Beiträge die Konferenz nicht möglich wäre. Das Themenspektrum eingereichter Beiträge reicht dabei von theoretisch-mathematischen Grundlagenarbeiten über Beiträge, die hardwareseitige Aspekte diskutieren, bis hin zur Anwendung von Erkenntnissen der Informatik in anderen Fachbereichen. Anhand der Vielzahl vertretener Themen zeigt sich die große Vielfalt der Informatik sowie angrenzender Disziplinen im deutschsprachigen Raum.

Wir freuen uns darüber hinaus, dass wir auch in diesem Jahr wieder namhafte Gutachterinnen und Gutachter gewinnen konnten, die den Studierenden mit hilfreichen Kommentaren zu ihren Arbeiten zur Seite standen. Durch deren Hilfe konnten alle eingereichten Beiträge von mindestens zwei ausgewiesenen Expertinnen und Experten begutachtet werden.

Organisationskomitee der SKILL 2017

- Michael Becker, Institut für Angewandte Informatik e.V.
- Judith Michael, Alpen-Adria-Universität Klagenfurt
- Thomas Riechert, Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig
- Johannes Schmidt, Universität Leipzig

[1] Institut für Angewandte Informatik e.V., Hainstr. 11, 04109 Leipzig, becker@infai.org
[2] Alpen-Adria-Universität Klagenfurt, Institut für Angewandte Informatik, Universitätsstr. 65-67, A-9020 Klagenfurt am Wörthersee, Judith.Michael@aau.at
[3] HTWK Leipzig, Fakultät Informatik, Mathematik und Naturwissenschaften, Gustav-Freytag-Str. 42A, 04277 Leipzig, thomas.riechert@htwk-leipzig.de
[4] Universität Leipzig, Institut für Informatik, Hainstr. 11, 04109 Leipzig, jschmidt@informatik.uni-leipzig.de

doi:10.18420/in2017_243

Gutachterinnen und Gutachter der SKILL 2017

- Gunnar Auth, Hochschule für Telekommunikation Leipzig
- Matthias Book, University of Iceland
- Christian-Alexander Bunge, Hochschule für Telekommukation Leipzig
- Steffen Dienst, University of Leipzig, ScaDS Competence Center
- Frank-Michael Dittes, Hochschule Nordhausen
- Thomas Efer, Universität Leipzig
- Olga Egorow, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
- Werner Esswein, TU Dresden
- Julia Friedrich, Institut für Angewandte Informatik e.V.
- Marvin Frommhold, Universität Leipzig
- Martin Giese, HIH / CIN UKT
- Doreen Götze, Universität Leipzig
- Tobias Griebe, adesso AG
- Frank Grimm, Westsächsische Hochschule Zwickau
- Christoph Hannebauer, Universität Duisburg-Essen
- Otthein Herzog, Universität Bremen, Tongji University, Jacobs University
- Jörn Hoffman, Universität Leipzig
- Martin Hübner, HAW Hamburg
- Jörg Keller, FernUniversität in Hagen
- Stephan Klingner, Universität Leipzig
- Agnes Koschmider, KIT
- Milos Kravcik, DFKI
- Jan-Patrick Lehr, Graduate School Computational Engineering at Technische Universität Darmstadt
- Mathias Lux, Alpen-Adria Universität Klagenfurt
- Andreas Maletti, Universität Leipzig
- Kyrill Meyer, Institut für Angewandte Informatik e.V.
- Lydia Müller, Universität Leipzig
- Helmut Neukirchen, University of Iceland
- David Georg Reichelt, Universität Leipzig
- Petra Sauer, Beuth Hochschule fur Technik Berlin
- Thomas Schmid, Universität Leipzig
- Michael Schöttner, Heinrich-Heine Universitaet Düsseldorf
- Andre Schulz, Fernuni Hagen
- Oliver Skroch, Hochschule Darmstadt
- Christoph Sorge, Universität des Saarlandes
- Peter Thiemann, Universität Freiburg
- Christian Zinke, Institut für Angewandte Informatik e.V.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 2389

Evolutionary algorithms for finding gen knockout targets

Paul Jähne[1]

Abstract: The organic chemical industry is primarily based on fossil raw materials. An alternative is the use of industrial biotechnology which is based on microorganisms that produce the needed substances as a part of their metabolism from renewable raw materials. Metabolic engineering is a technique to increase the production of the desired products through genetic modifications. The needed modifications are not trivial and no algorithm is currently known. Therefore this paper investigates the use of evolutionary algorithms for finding genetic modifications. The production of polyhydroxybutyrate out of methanol by *Methylobacterium extorquens AM1* is examined as an example. The proposed evolutionary algorithm is able to find a modification with 15 knockouts that increases the production of polyhydroxybutyrate by a factor of 294 at 0.6-fold biomass growth rate.

Keywords: evolutionary algorithm; flux balance analysis; metabolic engineering

1 Introduction

Many basic chemicals used in the organic chemical industry are obtained from fossil raw materials with limited availability [Ve16]. Furthermore there extraction and usage threatens the environment. An alternative to that is the usage of microorganisms which produce the desired substances as part of their metabolism. Such organisms are also called cell factories. They use cheap, renewable raw materials for their metabolism. Cell factories are already used at a low percentage. Their application is restricted by technical and economical factors because the microbes produce the desired substances usually as a side product. Therefore only a small amount of the raw materials is turned into the desired products.

One method to increase the yield of the desired products is *metabolic engineering* (ME). It deals with the targeted modification of the metabolism of an organism. The aim is to influence the production of certain products or to achieve desired cellular characteristics [SAN98, S. 2]. Thereby genes are deleted, regulated, or transferred from other organisms to achieve the modification.

The experimental implementation of such modifications is lengthy and the amount of possible modifications is huge because of the complexity of the genome. Therefore models are needed to estimate the effect and to avoid lengthy experimenting. One possibility is the usage of metabolic network models and methods like the flux balance analysis (FBA). They

[1] Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur, Fakultät Informatik, Mathematik und Naturwissenschaften, Karl-Liebknecht-Straße 132, 04277 Leipzig, paul.jaehne@gmx.de

doi:10.18420/in2017_244

use few input data in comparison to other models and formulate the task as an optimisation problem. However the size of the search space prevents an exhaustive search and efficient algorithms specialised for this task are not known so far. Hence the use of techniques like meta heuristics is needed to generate promising solution candidates in reasonable time.

Certain conditions have to be met for a practical use of such changes [GL16]. This includes the yield which describes how much raw material is turned into the desired products. This should be as high as possible to utilise the raw materials for the desired purpose. The organism should also still be viable and able to grow. In addition the productivity is also important. It describes the speed at which products are build. This should also be as high as possible to produce a lot of the desired products in a short time.

Examples for the application are [Ja08] and [Zh09]. Therein it is described how genetic modifications in *Escherichia coli* improve the production of succinate out of glucose. Succinate is an important basic chemical which is mainly produced out of petroleum based chemicals. Further examples can be found in [CBN11] and [Fo14].

This paper aims to examine the use of evolutionary algorithms to search for knockout targets to increase the production of desired products. For this purpose the *Methylobacterium extorquens AM1* is examined as an example. This organism uses methyl compounds as the primary source for it is metabolism and produces polyhydroxybutyrate (PHB) as a storage substance under certain environmental conditions. This substance can be used as a biodegradable plastic. Therefore the organism should be used to produce biopolymers out of methanol.

2 Theoretical principles

This section describes the terms and concepts which are needed to understand the paper. These are the modelling of the metabolism with the FBA and evolutionary algorithms (EAs).

2.1 Flux balance analysis

The practical process and verification of genetic changes is time consuming. Because of this models are needed to approximate the possible outcome of certain changes. One such model is the flux balance analysis. It describes the metabolism of the organism as a linear programming (LP) problem. The model needs the stoichiometry of the substances involved in the metabolism. These substances are called metabolites. The metabolism can be seen as a network consisting of reactions and metabolites.

The presentation as a metabolic network is not suitable for the FBA. Instead the stoichiometric matrix $\mathbf{S}$ represents the reactions and metabolites. An example is shown in equation 1. Thereby each column represents one reaction and each row one metabolite. For example the

reaction $R_{biomass}$ needs one time A, two times C, and two times D to produce one $biomass$. This results in the stoichiometric equation $A + 2C + 2D \rightarrow biomass$. The metabolites on the left side are taken up to produce the metabolites on the right side. Therefore the metabolites on the left side have a negative sign and on the right a positive sign.

$$\mathbf{S} = \begin{array}{c} \\ A \\ B \\ C \\ D \\ biomass \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{ccccccccc} R_1 & R_2 & R_3 & R_4 & R_5 & R_6 & R_7 & R_8 & R_9 & R_{biomass} \end{array} \\ \begin{pmatrix} 1 & -2 & 0 & -2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & -2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & -1 & 1 & 0 & 0 & -2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 \end{pmatrix} \end{array} \tag{1}$$

The model assumes that the reactions are in a balanced state. This means that production and uptake for each metabolite is equal. Another assumption is that the biomass reaction and therefore the growth is to be maximised. With these two assumptions it is possible to calculate the reaction rates. They are called fluxes and are denoted by the vector $\mathbf{v}$. The values in the vector $\mathbf{c}$ are set to zero except for the position of the biomass flux which is one as this is the optimisation target. Additionally, each reaction rate has an upper and lower bound, $\mathbf{u}$ and $\mathbf{l}$ respectively, which are in place because of reaction speeds and transport processes. This results in a LP problem like in equation 2. The results are the reaction rates $\mathbf{v}$ for the belonging reactions which allow for the biggest growth.

$$\max \{\mathbf{c} \cdot \mathbf{v} \mid \mathbf{S} \cdot \mathbf{v} = \mathbf{0}, \mathbf{l} \leq \mathbf{v} \leq \mathbf{u}\} \tag{2}$$

The FBA compared to other models has the advantage of making quantitative predictions with few and comperatively easily obtainable data [LNP12]. Nevertheless there are unrecognised factors like gen regulation which influences the activity of genes and therefore the production of their products. Hence the accuracy of the predictions is reduced.

The deletion of reactions is called knockout. They are being integrated in the FBA by setting the upper and lower bounds for the reaction rates to 0. This is the only genetic modification which is used in this paper.

2.2 Evolutionary algorithm

EAs are powerful, domain independent search methods which are inspired by the evolutionary theory. They create new solution candidates by selection, combination and random changes of existing solution candidates. The above named operators are based on stochastic methods which is why there is no guarantee to find the optimal solution, but good solutions are found in general. This type of algorithm is called metaheuristic. They are useful if no exact

solution algorithm is known or if an exact solution would take to much time and when approximate solutions are sufficient.

The course of a general EA is as follows. An initial population is created at the start. It consists of an amount of solution candidates which are called individuals. Afterwards each individual is evaluated with the fitness function. Then a new generation is created by the application of the operators selection, crossover, and mutation on the population of the previous generation. Finally, the newly created generation is evaluated with the fitness function. New generations are created until a termination criteria is reached. Based on this principal different subtypes of EA evolved. These differ in the representation of the individuals and operators used.

3 Related work

Patil et al. present in [Pa05] an evolutionary algorithm to search for knockout targets. For this purpose they use a binary and real encoding of the solution candidates. The binary encoding assigns each reaction to one bit which encodes the presence of this reaction. So the individual is a list of as much bits as there are reactions. An individual in real encoding is a list of knockouts. The amount of knockouts is thereby determined by the size of the individual. The fitness is evaluated with the *biomass product coupled yield* (BPCY) with values from the FBA. This value describes the quality of a modification and consists of the product of biomass growth rate and the yield. Both are important factors for a successful practical implementation as discussed in section 1. As operators in the EA they use roulette wheel selection, one-point, two-point, and uniform crossover. The proposed algorithm is tested against three examples for which good solution candidates are found within 1000 generations. The solution quality did not increase when more iterations like 5000 were allowed. The fitness develops in steps which is explained by the possibility that the solution space might be discrete. For the parameters of the EA it is mentioned that increasing the population size beyond 125 individuals does not improve the solution quality significantly. The different crossover strategies and encoding schemes resulted in similar solution quality.

Rocha et al. compare evolutionary algorithm and simulated annealing for the search for knockout targets in [Ro08]. Simulated annealing is also a metaheuristic. It generates new solution candidates out of previous ones by a kind of mutation. Better solutions are always accepted and worse with a certain probability. The probability decreases in each iteration which should resemble cooling down of a system, hence the name. Both algorithms use the set-based, real encoding. There the solution candidates consist of a variable sized list of knockouts. The solution candidates are initialised with with ten random knockouts. The operators for the EA are roulette wheel selection, uniform crossover, and single-point mutation. Additionally, the operators grow and shrink are added to change the size of the individuals. One half of a new generation is created by selection and the other half by the other operators. The solution candidates are evaluated with the BPCY with values from the FBA. Both algorithms are tested on four examples. It is shown that simulated

annealing reaches better solutions faster for a given number of solution candidates and the best solutions are slightly better than the ones found by the EA. The EA is additionally tested without the crossover. The results are similar indicating that the crossover is of no use in this case.

4 Implemented algorithm

This section describes the implemented algorithm which consists of the evolutionary algorithm and postprocessing. At first the mapping of the problem to the EA is explained, then the implementation of the operators, and finally the postprocessing.

4.1 Mapping to the evolutionary algorithm

The implemented EA uses the island model. It separates the whole population in independent subpopulations. The only interaction between these is the migration. It swaps individuals in set intervals between the islands which is described in greater detail in section 4.2. Through the separation it is possible that subpopulations examine different parts of the search space. Thereby the probability of the algorithm getting stuck at a local optimum might decrease.

The individuals encode the reactions in the metabolic network. Each reaction is represented by one bit. They correspond to the columns in the coefficient matrix of the LP problem. A 1 shows the presence of a reaction and a 0 it is absence. The i-th bit encodes the i-th reaction. Thus the individuals consist of a list of bits. They are represented as arrays of 32-bit unsigned integers in the algorithm. The encoding is shown in figure 1.

variable	1					2					...
bit	0	1	2	...	31	0	1	2	...	31	
value	1	1	1	...	1	1	0	1	...	1	
reaction	1	2	3	...	32	33	34	35	...	64	

Fig. 1: Encoding of the problem into individuals of the EA.

To evaluate the individuals they have to be decoded into a coefficient matrix of a LP problem. One possible implementation would be to do a matrix-matrix multiplication with the original coefficient matrix and the list of bits of the individual as a row matrix. But this wastes a lot of computational resources. So the matrix would be in large parts a copy of the original one. Therefore the original matrix is copied and the values in the columns corresponding to a 0 in the individual are set to 0.

4.2 Evolutionary algorithm operators

The initial population is not created with completely random values, as this would mean that on average half the reactions would be set to zero and therefore absent. This would result in

large parts of the metabolism being disabled and likely breaking it completely. This would lead to a fitness value of 0 and thus no search direction would exist. This consideration is also supported by publications on metabolic modifications. They have at most a low two-digit number of modifications (see section 1). An alternative is to start with all reactions as present and mutating each individual. This creates diversity in the population without destroying the metabolism.

The tournament selection is used as the selection operator. It randomly chooses an amount of individuals given by the tournament size, where multiple selection is allowed. The individual with the best fitness of the selected individuals is taken to the temporary population for the next generation. So it is possible that worse individuals get into the next generation and therefore the diversity is bigger compared to a best selection. There are as many tournaments as set by the selection rate.

The uniform crossover is used as the crossover operator. The bits are randomly chosen from the parents based on a random bitmask. The parents are randomly chosen from the previous generation and multiple selection is possible. There are as many crossover operations as needed to fill up the population with new individuals to it is original size after the selection.

The one-point mutation is used as mutation operator. There randomly chosen bits are inverted. The amount of inversions is given by the mutation strength. The mutation rate determines the amount of individuals to mutate. They are randomly chosen from the temporary population and multiple selection is possible.

The migration operator swaps individuals between the island. The amount is determined by the migration size. The swap is done in a ring topology. For this the first individuals are chosen which fitness are above the average of the island. They then replace the first individuals of the neighbouring island which are below the average fitness of this island. The migration interval sets the amount of iterations after that the migration is performed.

The product of the biomass growth rate and the yield (BPCY) is used for the fitness evaluation. These are two important factors for a successful practical application [GL16]. The cells have to be able to grow and also produce a high yield. One is not possible without the other and a smaller value in one factor can be compensated by increase in the other factor. Therefore this value is a indicator for practical use. The BPCY is given as $\text{mmol}_{product}$ $\text{mmol}^{-1}_{substrate}$ h^{-1}. The *GNU Linear Programming Kit* (GLPK) library is used to solve the LP problem to determine the values for the fitness calculation.

4.3 Postprocessing

The proposed solutions of the EA have a large number of knockouts. This would lead to a big effort for implementing these changes. But the number of knockouts can be reduced because not all have influence on the result. Because of this an additional program is created which searches the knockouts for superfluous elements. For this it is checked if removing a

knockout changes the result. If so, the knockout is necessary and stays in the list. Otherwise, the knockout is not needed and removed from the list. The list of knockouts is run through repeatedly until no further change is possible. The so created reduced list of knockouts is not unique. Depending on the way the list is traversed there can be multiple different reductions.

5 Experiments

This section describes the results of the parameter study. For this purpose the model of the used organism is described. Then the environment for the parameter study is introduced. The most notable results are explained and then combined into a parameter set. This set is afterwards tested and the best knockout is given.

5.1 Test example

Methylobacterium extorquens AM1 is examined as an example. This organism mainly takes up methanol and produces polyhydroxybutyrate as a storage substance under lack of nitrogen. Methanol is available as a cheap raw material and PHB is a biodegradable plastic. Therefore this process is interesting for various applications. The stoichiometric matrix used is from the model by Peyraud et al. in [Pe11]. It consists of 1075 rows, 1142 columns, and 4574 non-zero elements. The FBA results in a biomass growth rate of $2.13 \cdot 10^{-1}$ h^{-1}, $5.91 \cdot 10^{-2}$ $mmol_{PHB}$ $g^{-1}_{dryweight}$ h^{-1} for the production rate of PHB, and $1.50 \cdot 10^{1}$ $mmol_{methanol}$ $g^{-1}_{dryweight}$ h^{-1} for the uptake of methanol. This results in a BPCY of $8.39 \cdot 10^{-4}$ $mmol_{PHB}$ $mmol^{-1}_{methanol}$ h^{-1}.

5.2 Parameter study

The effect of the parameters is analysed below. For this the individual parameters are varied based on a common set of parameters. The common values used are listed in table 1. All given values are calculated as the average of the best fitness values of each iteration and from 100 runs. Only the most significant parameters are presented below.

parameter	value	parameter	value	parameter	value
island amount	10	migration size	5	population size	100
iteration amount	1000	mutation rate	0.3	selection rate	0.3
migration interval	10	mutation strength	1	tournament size	5

Tab. 1: Common values for the parameter study.

To draw conclusions from the values it does not suffice to compare the position of the graphs because they only show the average but nothing about the scatter. Therefore a statistical analysis of the values is needed. For this purpose the independent two-sample t-test is used.

A value of 0.05 is used as the significance level. The probability calculated by the t-test is given behind the statements. Except when otherwise noted these values refer to the end result after the last iteration.

Island amount vs. population size To find out whether more islands or bigger islands are advantageous the population size and island amount are varied at a constant amount of 1000 individuals. For this 1, 2, 4, 8, 10, 20, 40, 50, and 100 islands and the corresponding population size are tested. The results are shown in figure 2. Few large islands find in the beginning better solutions. After 400 iterations the smaller islands achieve better values. The best values are obtained with 40 islands and with a population size of 25. But there is no statistically relevant difference up to 100 islands (0,250), this is the case starting from 20 islands (0,003). The single island stagnates after the steep increase at the beginning. Multiple islands are less prone to getting stuck at a local optimum and increase the solution over a longer period. The development of fitness values shows that the island model improves the solutions.

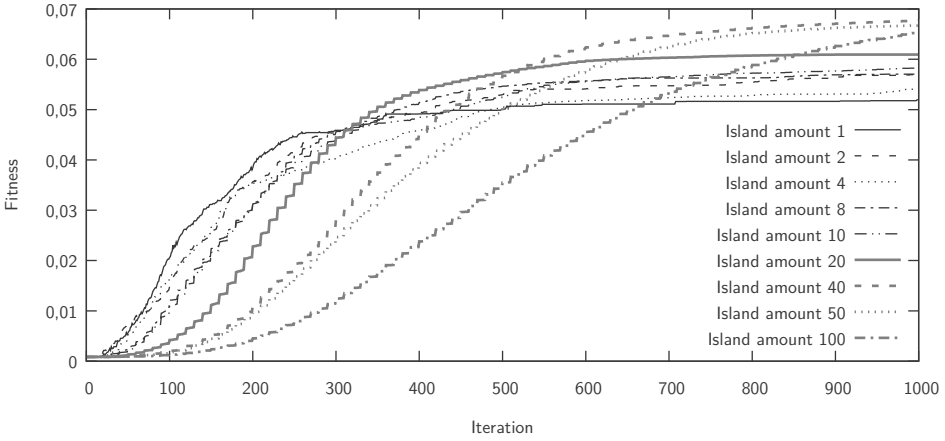


Fig. 2: Impact of island amount and population size on the fitness development. The population size is the result of $1000/islandamount$.

Mutation rate The effect of different mutation rate is shown in figure 3. For this values between 0.1 and 1.0 are tested in steps of 0.1. Higher mutation rates lead to higher fitness values over the whole course. The best fitness value is reached at a mutation rate of 1.0. This value is statistically not distinguishable from 0.9 (0.385). A statistically significant difference can be seen at a mutation rate of 0.6 (0.043). The best fitness values overall were reached during this experiment. Therefore this parameter is particularly important to improve the solution quality.

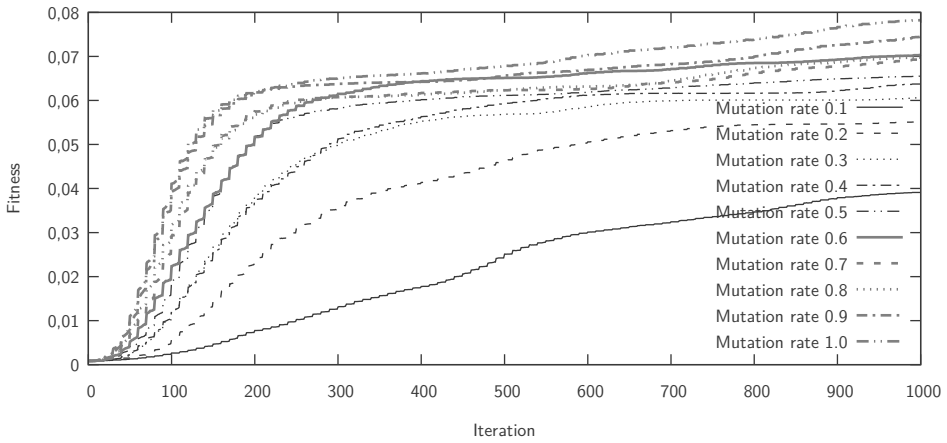


Fig. 3: Impact of the mutation rate on fitness development.

5.3 Combined parameter set

From the results of the parameter study a combined parameter set is created. This is put together from the best values of the individual parameters, except for population size and island amount. These values are taken from the parameter study for island amount vs. populations size, so that the amount of individuals is identical to the parameter study to achieve comparability. The parameter set is listed in figure 2.

parameter	value	parameter	value	parameter	value
island amount	40	migration size	10	population size	25
iteration amount	1000	mutation rate	1.0	selection rate	0.2
migration interval	10	mutation strength	1	tournament size	4

Tab. 2: Combined parameter set.

With these parameters there were also 100 runs conducted. The average development of fitness can be seen in figure 4. Additionally, the standard deviation is given. The combined parameter set finds better results than the individual experiments of the parameter study, for example when compared to the mutation rate of 1.0 (0.034). The fitness development flattens after 300 iterations. The distribution of the values increases during the course of the iterations.

The parameter study did not consider the crossover because it is coupled with the selection rate. There are as many individuals created by crossover as there are needed to fill up the population to its original size before the selection. Because of this the crossover is looked at separately. To check whether the crossover influences the fitness development it is removed entirely. The mutation is then used to generate new individuals to fill up the population. Therefore the mutation rate is now coupled with the selection rate. The fitness development

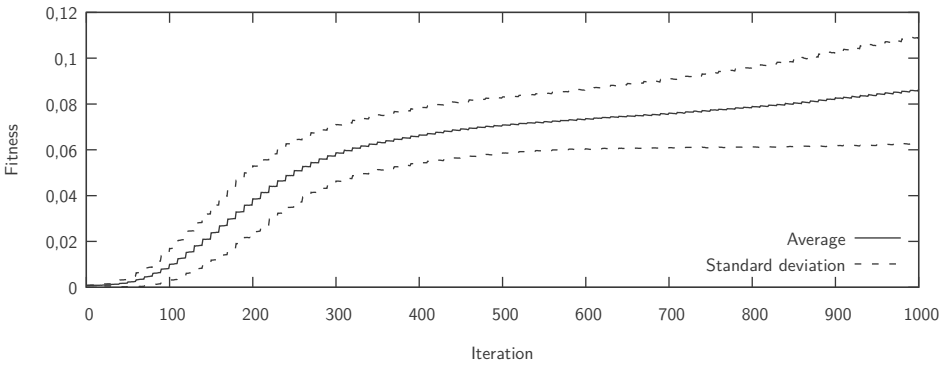


Fig. 4: Average of the fitness development and corresponding deviation with the combined parameter set.

of the algorithm without crossover compared to the previous one is shown in figure 5. At the beginning the algorithm without crossover reaches better solutions faster. The fitness development flattens after 200 iterations and the algorithm with crossover reaches better solutions at about 350 iterations. Also the standard deviation of the values is higher without recombination. The difference in solution quality is also statistically relevant (0.014). The crossover therefore contributes to better solutions.

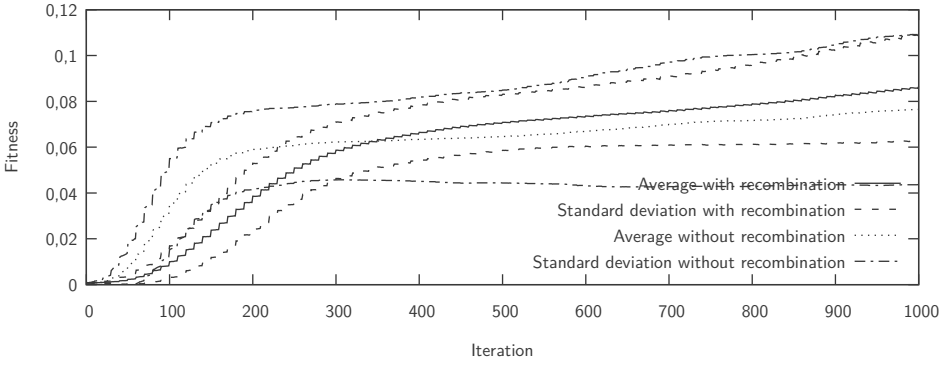


Fig. 5: Average of the fitness development and corresponding deviation with the combined parameter set with and without recombination.

The BPCY of the wild type for PHB production is $8.39 \cdot 10^{-4}$ mmol_{PHB} $\text{mmol}^{-1}_{methanol}$ h^{-1} and is composed of a biomass growth rate of $2.13 \cdot 10^{-1}$ h^{-1}, a production rate for PHB of $5.91 \cdot 10^{-2}$ mmol_{PHB} $\text{g}^{-1}_{dryweight}$ h^{-1}, and an uptake rate for methanol of $1.50 \cdot 10^{1}$ $\text{mmol}_{methanol}$ $\text{g}^{-1}_{dryweight}$ h^{-1}. The run with the highest BPCY achieved $1.48 \cdot 10^{-1}$ mmol_{PHB} $\text{mmol}^{-1}_{methanol}$ h^{-1}. This consists of a biomass growth rate of $1.28 \cdot 10^{-1}$ h^{-1}, a production rate for PHB of $1.74 \cdot 10^{1}$ mmol_{PHB} $\text{g}^{-1}_{dryweight}$ h^{-1}, and an uptake rate for

methanol of $1.50 \cdot 10^1$ $\text{mmol}_{methanol}$ $\text{g}^{-1}_{dryweight}$ h^{-1}. Thus the production rate of PHB increased nearly 300-fold which is a substantial improvement. The growth rate is above half of the wild type and the organism is therefore still capable of surviving. The values are also shown in table 3 for easier comparison.

property	wild type	best modification	factor
biomass growth rate [h^{-1}]	$2.13 \cdot 10^{-1}$	$1.28 \cdot 10^{-1}$	0.60
PHB production [mmol_{PHB} $\text{g}^{-1}_{dryweight}$ h^{-1}]	$5.91 \cdot 10^{-2}$	$1.74 \cdot 10^{1}$	294
methanol uptake [$\text{mmol}_{methanol}$ $\text{g}^{-1}_{dryweight}$ h^{-1}]	$1.50 \cdot 10^{1}$	$1.50 \cdot 10^{1}$	1.00
BPCY [mmol_{PHB} $\text{mmol}^{-1}_{methanol}$ h^{-1}]	$8.39 \cdot 10^{-4}$	$1.48 \cdot 10^{-1}$	176

Tab. 3: Comparison of the wild type and the run with the highest BPCY.

The corresponding knockouts consist of 221 reactions which would lead to a big effort for a practical implementation. Because of this the list of knockouts is reduced as shown in section 4.3. The knockouts are thereby reduced to 15 essential ones. These are with their names from the *Systems Biology Markup Language* (SBML) file of the appendix to [Pe11]: R-0005, R-0019, R-0031, R-0044, R-0069, R-0202, R-0252, R-0256, R-0347, R-0351, R-0412, R-0425, R-0879, R-1009, R-1026. SBML is a common exchange format for models of biological processes. The influence of a single reaction can not be specified as these only achieve the results together.

6 Summary

This paper describes an implementation of an EA for the search of knockout targets with FBA. It describes the theory behind it. Afterwards a overview of related work is shown. Then a description of the implemented algorithm is given. With this implementation a parameter study is conducted with *Methylobacterium extorquens AM1* as an example. Based on this a parameter set is created and knockouts are proposed.

The implemented EA uses the island model which divides the population in sub populations. This improves the results whereby a larger island amount achieves better results. The most influential parameter is the mutation rate whereby a higher mutation rate leads to better results. The crossover also improves the solution candidates.

After parametrisation the EA finds promising solution candidates for the production of PHB. The amount of knockouts resulting from the EA is large, but can be reduced through postprocessing. For example the best solution candidate has 221 knockouts which are reduced to 15 essential once via postpreocessing. This knockout suggestion increases the BPCY from the wild type with $8.39 \cdot 10^{-4}$ mmol_{PHB} $\text{mmol}^{-1}_{methanol}$ $\text{h}^{-1}$to $1.48 \cdot 10^{-1}$ mmol_{PHB} $\text{mmol}^{-1}_{methanol}$ h^{-1}. This correspond to an increased production rate of PHB by the factor 294 at 0.6 fold biomass growth rate.

The proposed knockout strategy could not be verified experimentally within this paper. It would therefore be interesting if it can be implemented practically and whether the predicted values from the FBA are achieved in practice. Additionally, the transferability of the parameter set to other organisms should be examined.

References

[CBN11] Cvijovic, Marija; Bordel, Sergio; Nielsen, Jens: Mathematical models of cell factories: moving towards the core of industrial biotechnology. Microbial Biotechnology, 4(5):572–584, 2011.

[Fo14] Fong, Stephen S.: Computational approaches to metabolic engineering utilizing systems biology and synthetic biology. Computational and Structural Biotechnology Journal, 11(18):28–34, 2014.

[GL16] Gustavsson, Martin; Lee, Sang Yup: Prospects of microbial cell factories developed through systems metabolic engineering. Microbial Biotechnology, pp. n/a–n/a, 2016.

[Ja08] Jantama, Kaemwich; Zhang, Xueli; Moore, Jonathan C.; Shanmugam, Keelnatham T.; Svoronos, S. A.; Ingram, Lonnie O.: Eliminating side products and increasing succinate yields in engineered strains of Escherichia coli C. Biotechnology and Bioengineering, 101(5):881–893, 2008.

[LNP12] Lewis, Nathan E.; Nagarajan, Harish; Palsson, Bernhard O.: Constraining the metabolic genotype–phenotype relationship using a phylogeny of in silico methods. Nature Reviews Microbiology, 10(4):291–305, 2012.

[Pa05] Patil, Kiran Raosaheb; Rocha, Isabel; Förster, Jochen; Nielsen, Jens: Evolutionary programming as a platform for in silico metabolic engineering. BMC Bioinformatics, 6(1):1–12, 2005.

[Pe11] Peyraud, Rémi; Schneider, Kathrin; Kiefer, Patrick; Massou, Stéphane; Vorholt, Julia A.; Portais, Jean-Charles: Genome-scale reconstruction and system level investigation of the metabolic network of Methylobacterium extorquensAM1. BMC Systems Biology, 5(1):1–22, 2011.

[Ro08] Rocha, Miguel; Maia, Paulo; Mendes, Rui; Pinto, José P.; Ferreira, Eugénio C.; Nielsen, Jens; Patil, Kiran Raosaheb; Rocha, Isabel: Natural computation meta-heuristics for the in silico optimization of microbial strains. BMC Bioinformatics, 9(1):1–16, 2008.

[SAN98] Stephanopoulos, George; Aristidou, Aristos A.; Nielsen, Jens: Metabolic Engineering: Principles and Methodologies. Elsevier Science, 1998.

[Ve16] Verband der Chemischen Industrie e.V.: , Rohstoffbasis der chemischen Industrie - Daten und Fakten. https://www.vci.de/vci/downloads-vci/top-thema/daten-fakten-rohstoffbasis-der-chemischen-industrie-de.pdf, July 2016.

[Zh09] Zhang, Xueli; Jantama, Kaemwich; Moore, Jonathan C.; Jarboe, Laura R.; Shanmugam, Keelnatham T.; Ingram, Lonnie O.: Metabolic evolution of energy-conserving pathways for succinate production in Escherichia coli. Proceedings of the National Academy of Sciences, 106(48):20180–20185, 2009.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 2401

Building a Consistent Taxonomy for Parallel Programming Models

Markus Nestmann[1]

Abstract: Parallel programming has been a challenge for developers and software engineers for over two decades now. To lower the complexity of parallel programs, a lot of different parallel programming models (like ACTORs) or supporting libraries (like MPI) have been introduced. These models and libraries support different features and have individual hardware requirements.
As part of a software development process a software engineer has to choose which programming model or library is used and fits best for a specific use case. Usually this discussion is made in an early design phase and depends on multiple factors.
To enable the software engineer to make a well-informed decision a taxonomy is required, that contains all necessary information. To find such a taxonomy we performed a **S**ystematic **L**iterature **R**eview, within we found five taxonomies. However, the found taxonomies are inconsistent regarding structure, terms and included models. This paper discusses the five found taxonomies and we will propose a new taxonomy, that overcomes their shortages and combines their features. With our proposed taxonomy software engineers are able to make well-informed decisions already in early phases of the software development process.

Keywords: Parallel Programming Models, Overview, Taxonomy

1 Introduction

Over a decade ago the validity of Moore's law seemed threaten, because single core processors reached a performance limit, due to various factors like overheating. At around the same time multicore CPU's (CPU's which contains multiple cores) became wildly used to overcome performance issues. Nowadays multicore CPU's can be found in all kind of devices (i.e., smartphones, desktop PC's, or Servers). To use these CPU's in an efficient way, it is necessary, that the software running on these devices is written in a way, that it supports parallel execution. However, developing parallel software is complex due to additional challenges (i.e., synchronisation, race conditions, etc.). Therefore, new parallel programing models and frameworks emerged, which abstract the level of parallelism to an extend, that it is easier to handle. Examples are: OpenMP [2] or Erlang [3]. These languages are based on parallel programming models, like the Parallel Random Access Machine (PRAM).

[1] Technische Universität Chemnitz, Fakultät für Informatik, Professur Softwaretechnik, Straße der Nationen 62, 09111 Chemnitz, nesma@hrz.tu-chemnitz.de
[2] http://openmp.org/wp/
[3] https://www.erlang.org/

doi:10.18420/in2017_245

However, choosing the right model or framework is not a trivial task. Every model has other features and drawbacks. Therefore, choosing a model is a design decision made by a software engineer in an early design phase and cannot be undone easily. This means further, the software engineer needs to gather founded information about different models as well as information about the hardware, the software should run on, to be enable to make a well-informed decision [FH16].

To support the software engineers decision making process an overview of the features and requirements for different models is necessary.

A **S**ystematic **L**iterature **R**eview(SLR)[Ne16] revealed five different taxonomies ([Li11], [Zh07], [DMN12], [Je11], [Be13]). However, when evaluating the found taxonomies it became clear that they also fail to provide a complete set of aspects desired for a taxonomy. In this paper we discuss and analyze the features and the shortcomings of the found papers. Based on the analyses we propose a combined taxonomy to overcome the problematic inconsistencies and flaws of the found taxonomies with the purpose to sufficiently differentiate between parallel programming models. Further we identify requirements for such a taxonomy by answering the following research question:

RQ: What is a consistent structure for parallel programming models and which criteria have to be used to sufficiently differentiate between the models?

As a result we present a taxonomy which possesses relevant criteria for differentiating between programming models. This taxonomy can now be used by software engineers to make well-informed decisions.

This paper begins with a short section about the performed SLR. Then the requirements of the desired taxonomy will be defined in the following section. After that we discuss the five found taxonomies regarding their underlying motivation, structure, and what requirements they miss. We conclude with the presentation of our proposed taxonomy.

2 Systematic Literature Review

To answer the research question a Systematic Literature Review was performed during a bachelor thesis [Ne16]. The goal was to find all relevant sources that deal with and present multiple parallel programming models. It was performed to get a list of currently used parallel programming models and to find differences between taxonomies. The thesis is a meta-survey, so especially surveys and overviews were interesting. The SLR was performed according to Kitchenham [KC07] using the meta search engine Google Scholar [4]. The following lists show the search terms (S), the inclusion criteria (I), and the exclusion

[4] https://scholar.google.de/

criteria (E). Synonyms for the search terms were *review*, *overview*, *parallel model*, *parallel computing*, and *model*.

Search Terms:

S_1 *Survey AND "Parallel Programming Model"*

S_2 *Survey AND Models AND "Parallel Computation"*

Inclusion Criteria:

I_1 Results, that compare parallel programming models.

I_2 Results, that describe and present multiple parallel programming models.

I_3 Results, that introduce a taxonomy for parallel programming models.

Exclusion Criteria:

E_1 Results, that don't meet the search criteria.

E_2 Results, that were written in other languages than german or english.

E_3 Results, that are e.g. PowerPoint presentations.

E_4 Results, that are not available using the TU Chemnitz access.

E_5 Results, that don't go into parallel programming models.

E_6 Results, that don't cover multiple parallel programming models.

The search terms with their variations led on the 11.08.2016 to 20 results. Google Scholar filters were used to get results between 2006 and 2016 and the filter *intitle:* was used to search for the term Survey and it's synonyms in the title. The whole documentation of the SLR can be found in the bachelor thesis [Ne16]. After analyzing these 20 papers 9 of them were excluded due to exclusions criteria, so 11 papers were used in the bachelor thesis. All of them cover multiple parallel programming models but just 5 of them contain a taxonomy. These 5 papers ([Li11], [Zh07], [DMN12], [Je11], [Be13]) are now the foundation of our paper and we will discuss them later on.

3 Requirements of a Sufficient and Consistent Taxonomy

To find the desired taxonomy, it is first necessary to characterize the requirements for such a taxonomy. The requirements depent on the intended usage of the taxonomy, so we first have to define our motivation and then afterwards introduce the requirements. Our motivation is to have a taxonomy that can aid in the choosing process of a parallel programming model. For that it has to differentiate between the models using criteria that are interesting in the choosing process. To find these criteria and finally the requirements we used results from the SLR [Ne16]. Especially R_4 and R_5 were included after seeing the increasing popularity of these groups in the papers of the SLR (see also chapter 5). The first three requirements arose mainly from our motivation. R_2 was therefore included because it is important in the choosing process but also because we found this differentiation in the papers. More details can be seen in the thesis. In the following we present a well-considered list of requirements.

The taxonomy has to...

- R_1 ...include all currently used parallel programming models, because most likely current models will be interesting for the software engineer in the choosing process.
- R_2 ...give information about the memory architecture of the models, namely shared-, distributed- or hierarchical memory, so that the user can pick a model fitting to his hardware.
- R_3 ...provide sufficient criteria to differentiate between all included models, so that it can aid the software engineer in the choosing process.
- R_4 ...include GPGPU models (models that use also the GPU), because these models are gaining popularity and will be relevant to many developers today.
- R_5 ...include hybrid models (they combine existing models, e.g. MPI + Pthreads), because some of them combine the advantages of existing models and allow a better runtime for some special applications. This gives the software engineer more possibilities.

4 Existing Taxonomies

In this section the mentioned five taxonomies will be discussed.

The taxonomy of Xin Li [Li11] includes just task-based parallel programming models, because the focus was on automatic analyzes in APIs for task-level compiler. The author also wanted to look on the efficiency of models and therefore chose a division of these task-based models in control- and data driven models. That is basically a division in different execution mechanisms. The taxonomy was created for a specific research and therefore doesn't include libraries that are currently popular and widely used, such as MPI.

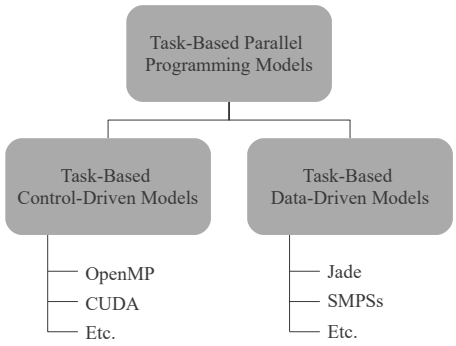


Fig. 1: Figure based on taxonomy from [Li11]

The taxonomy of [Zh07] gives a historic view on parallel programming models. The authors showed that first there were models based on shared memory. After that the first models with distributed memory appeared and now the models with hierarchical memory are gaining popularity. That's why the taxonomy divides the parallel programming models in these three groups. Especially in the group of models with hierarchical memory a lot of current models are covered.

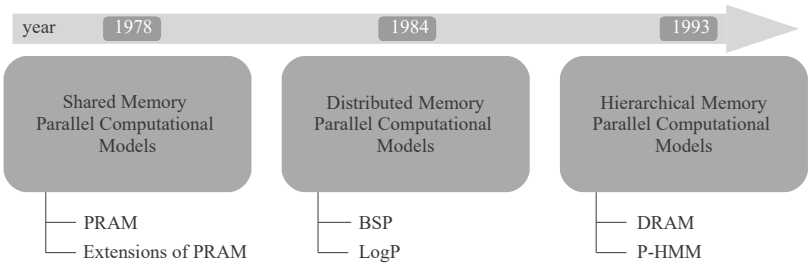


Fig. 2: Figure based on taxonomy from [Zh07]

The authors Javier Diaz et al. [DMN12] introduce in their paper a taxonomy with four groups of parallel programming models. This allows a very broad view over the models and the authors also included currently used models. The paper of the authors discussed parallel programming models regarding their suitability for the High-Performance-Computing community. For that they chose one model for each target architecture: models for shared-/distributed architectures, GPGPU models and hybrid models (combine models of the other groups). The model PGAS forms a group of itself.

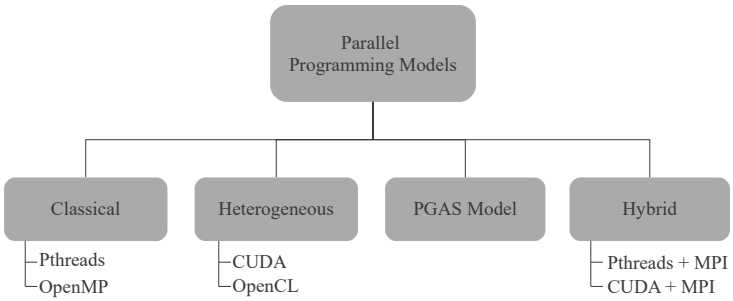


Fig. 3: Figure based on taxonomy from [DMN12]

The paper of Matevz Jekovec [Je11] introduces the most important models of computation. A model of computation is used as a term to describe sequential programming models and their counterpart parallel models which are covered in their paper. Each model belongs to one of the groups shared-, distributed- or hierarchical memory models, like the historic division form [Zh07]. But another criterion is the degree of abstraction. It shows for every model whether it is very abstract or realistic. For the author it was important to research technical bottlenecks to develop efficient algorithms. The memory architecture is an important aspect for this. That's why he structured the taxonomy as he did. In the figure only the parallel programming models (right side) are displayed.

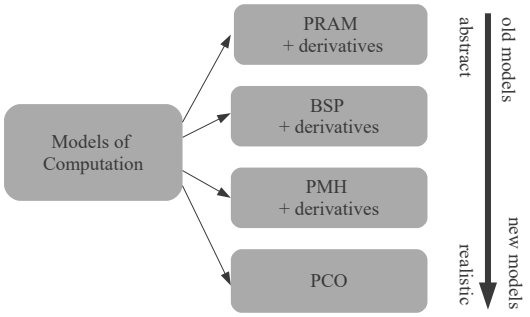


Fig. 4: Figure based on taxonomy from [Je11]

Evgenij Belikov et al. [Be13] have the largest overview in their paper compared to the other four. They use the term parallel programming models in another sense than the other authors. For example models like PRAM are not listed but a lot of parallel programming languages like JAVA or Erlang and also many libraries. Because of that they structured the models in many clusters that are also based on programming language properties. They differentiate for example between declarative and imperative languages. In the paper they focus on the

efficiency of models and and support the opinion that the abstraction of Coordination and Computation has to be balanced for the best result. That's why this is included in their taxonomy. The software engineer can see how each of the models manages this abstraction.

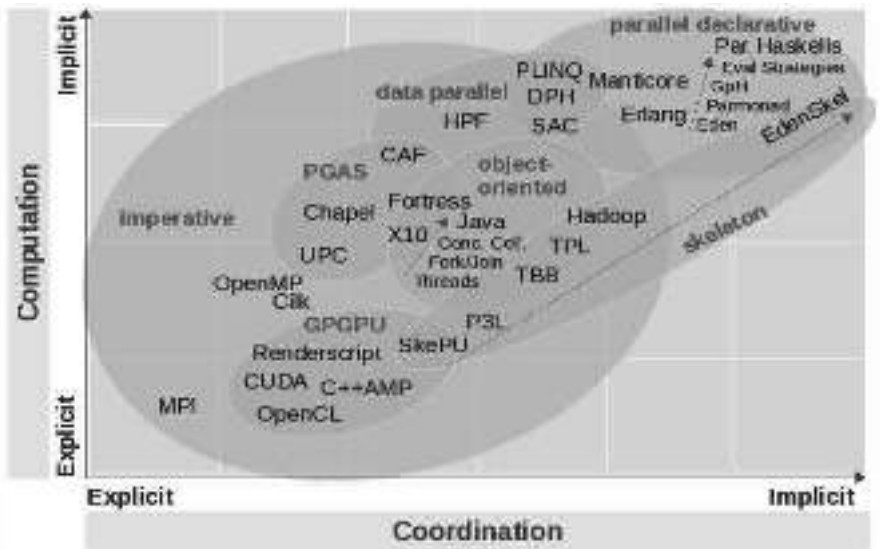


Fig. 5: Taxonomy from [Be13]

Comparison of the Taxonomies

In the following table 1 the fulfilled requirements are shown for each analyzed paper.

The paper [Li11] fulfills the third requirement, because for each model the execution mechanism is provided. So each model can be differentiated using that criteria. But it doesn't include GPGPU and hybrid models and it only covers task-based parallel programming models. The other requirements are therefore not fulfilled.

The paper [Zh07] fulfills the first two requirements, because all current models are covered in one of the three groups, that also differentiate based on the memory architecture, which is the second requirements. GPGPU models or hybrids are not mentioned however.

The paper [DMN12] covers all current models and includes GPGPU and hybrid models. Three requirements are therfore fulfilled. But there is no furhter criteria in the structure to differentiate between the many models that are covered in the first group (classical models). The taxonomy also gives no information about shared-, distributed or hierarchical models. So the second and the third requirement is not fulfilled.

The paper [Je11] gives information about each model regarding the degree of abstraction. The software engineer can differentiate between all models with this criteria. It also groups

the models based on the three memory models. But the other requirements are not fulfilled because the authors only chose those models that show parallel structure to the sequential models in their paper.

The paper [Be13] lists a lot of parallel programming languages and libraries but many models are not covered and it also doesn't fulfill the second requirement. But with the inclusion of the GPGPU models the fourth requirement is fulfilled. It is also possible to differentiate between all models because they structured them in clusters and placed them in an diagram that shows how every model manages computation and coordination.

The table 1 shows that no taxonomy from the papers fulfills all requirements.

		taxonomies				
		[Li11]	[Zh07]	[DMN12]	[Je11]	[Be13]
requirements	R_1		✓	✓		
	R_2		✓		✓	
	R_3	✓			✓	✓
	R_4			✓		✓
	R_5			✓		

Tab. 1: Comparison of fulfilled requirements through the taxonomies

5 Proposed Taxonomy

Figure 6 shows our proposed taxonomy that was created to fit the requirements (see section 3).

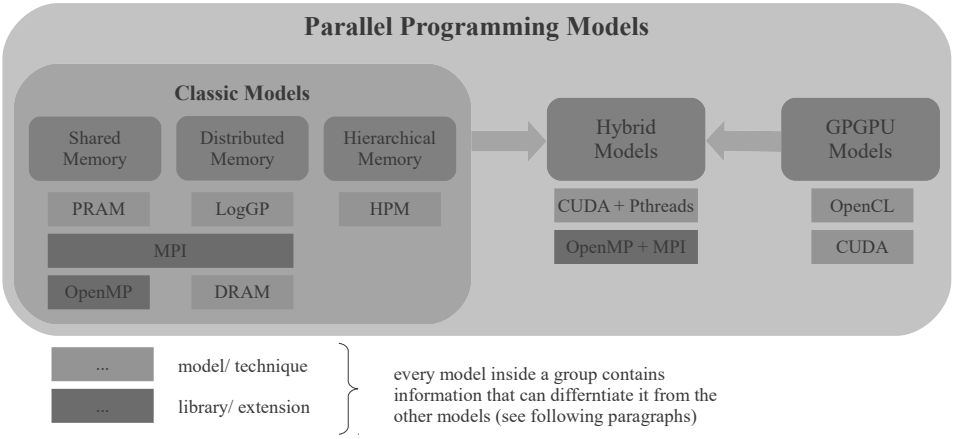


Fig. 6: Own approach for a taxonomy.

Many aspects of the analyzed taxonomies were taken to built a taxonomy that is relevant and includes the most important parts. The taxonomy is vertically and horizontally structured. Horizontally there are three groups. The classic models, the GPGPU models and the hybrid models. First it became clear that a division of the parallel programming models based on the shared-, distributed- and hierarchical memory models was often used ([Je11], [DMN12], [Zh07]) and therefore should be included. That is why the classic models are divided in these three groups. GPGPU models also appeared in many papers with increasing popularity ([Be13], [Li11], [DMN12]). A third group are hybrid parallel programming models which were an example used by Javier Diaz [DMN12] who introduced in his paper many possibilities for combining different parallel programming models.

The mentioned groups will be the horizontal structure but the models inside these groups have to be structured (vertically) too. First it has to be clear what type of models are listed. In the analyzed papers some listed exclusively models and techniques like PRAM, BSP or PGAS. Others listed libraries like OpenMP, MPI or IntelTBB. Both parties described them as parallel programming models. There are many aspects of models that can be used to differentiate them among themselves. Henry Kasim et al. introduced a list of such aspects in their paper [Ka08]. They ask the following questions to know whether these things are done explicitly by the programmer or implicitly by the program itself. This list is sufficient for our use case, so the vertical structure is based on these points:

1. system architecture (shared- or distributed memory?) – already included in horizontal structure
2. programming methodologies (API, new specifications)
3. worker management (creation of threads/worker/processors?)
4. workload partitioning scheme
5. task-to-worker mapping
6. synchronization (when can worker access shared memory?)
7. communication model

The representation of the taxonomy as a table could look like Tab. 2. (The table is just an example to get another perspective and is not complete.)

	Pr. model/language	Type	Sytem Architecture	Data-/Task Parallelism	Implementations	...
Classic	PRAM	model	SM	data	OpenMP, CUDA	
	ArBB	library	SM	data	N/A	
	...					
	BSP	model	DM	N/A	BSPlib	
	LogP	model	DM	N/A	N/A	
	...					
	P-HMM	model	HM	N/A	N/A	
	...					
Hybrid	Pthreads&MPI	libraries	SM	task/data	MPICH2	
	...					
	...					
GPGPU	OpenCL	library	HM	data	OpenCL C	
	...					
	...					

Tab. 2: This is an example for the representation of the taxonomy as a table. All the information for the columns were taken form the analyzed papers. The N/A shows, that not every detail was found in the papers. SM, DM and HM mean shared-, distributed- and hierarchical memory. The three dots indicate that the content of this example table is not complete horizontally and vertically.

6 Evaluation

Now we have to evaluate whether the proposed taxonomy is an improvement to the found taxonomies or not. For this we have to compare the taxonomy to the other ones. The proposed taxonomy includes all current groups of parallel programming models, so all currently used models can be found. The taxonomy gives information about the memory architecture as seen in the group for classical models. With the criteria from Kasim [Ka08] it is also possible to provide sufficient criteria for the differentiation between the models. The taxonomy includes GPGPU models and hybrid models. The summarized comparison can be seen in table 3:

		taxonomies					
		[Li11]	[Zh07]	[DMN12]	[Je11]	[Be13]	new
requirements	R_1		✓	✓		✓	✓
	R_2		✓		✓		✓
	R_3	✓			✓	✓	✓
	R_4			✓		✓	✓
	R_5			✓			✓

Tab. 3: Comparison table (see Tab. 1) with added row for the proposed taxonomy

As seen in the comparison table 3 the proposed taxonomy fulfills the requirements we initially gathered. Therefore we could provide an improved taxonomy that overcomes most identified drawbacks. However, also this taxonomy has some hitches we want to address in the following enumeration. The bachelor thesis [Ne16] and the taxonomy was discussed in a round of experts.

1. The term parallel programming model includes also libraries even though there is a distinction between libraries and models.
2. It is not clear where MPI can be included. Due to he message passing model it can be based on shared- or distributed memory.

7 Application of the Taxonomy

With the example presentation in table 2 the developer get's a helpful overview for the parallel programming models. He can look for GPGPU models or choose a classic model. If the developer looks into the classic models, he can choose a category that fits his environment. If he wants to work with shared memory, he could for example choose the PRAM model. This decision could be based on different reasons. For example preferences in explicit or implicit handling of the worker management or synchronization. Implementations of the chosen model can be found in the last column. It is furthermore possible that the developer chooses a hybrid model that combines his chosen model with another one. A good combination of the advantages from two models can lead to a better performance on special systems (e.g. Pthreads and MPI [Wr06]).

8 Conclusion

Through the analysis of multiple papers that introduce taxonomies for parallel programming models we observed that there are many differences between them. A taxonomy has to fulfill some requirements so that it can aid the developer in his choosing process of a suitable model. We were able to define these requirements and then we discussed the individual

taxonomies of the SLR. We were then able to introduce a new approach for a taxonomy that fulfills these requirements. Everyone who wants to choose a parallel programming model and is new to the subject could benefit from this taxonomy. Serving as an overview the developer can get information from the taxonomy about the differences between the current models. This could aid him so that he can make a well-informed decision. We could also show that our proposed taxonomy is an improvement to the taxonomies found in the SLR, nevertheless we are aware of hitches in the taxonomy and open for discussion and further improvement. It is also necessary to adapt the taxonomy when new groups of parallel programming models appear in the future so that it still includes all current models.

References

[Be13] Belikov, Evgenij; Deligiannis, Pantazis; Totoo, Prabhat; Aljabri, Malak; Loidl, Hans-Wolfgang: A survey of high-level parallel programming models. Technical Report HW-MACS-TR-0103, Heriot-Watt University, 2013.

[DMN12] Diaz, Javier; Munoz, Camelia; Nino, Alfonso: A survey of parallel programming models and tools in the multi and many-core era. IEEE Transactions on parallel and distributed systems, pp. 1369–1386, 2012.

[FH16] Frank, Markus; Hilbrich, Marcus: Performance Prediction for Multicore Environments—An Experiment Report. In: Proceedings of the Symposium on Software Performance 2016, 7-9 November 2016, Kiel, Germany. 2016.

[Je11] Jekovec, Matevz: Survey of the sequential and parallel models of computation. 2011.

[Ka08] Kasim, Henry; March, Verdi; Zhang, Rita; See, Simon: Survey on parallel programming model. In: Network and Parallel Computing. Springer, pp. 266–275, 2008.

[KC07] Kitchenham, Barbara; Charters, Stuart: Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering. 2007.

[Li11] Li, Xin: A Survey of Task-Based Parallel Programming Models. In: International Conference on Information Technology and Computer Science, 3rd (ITCS 2011). ASME Press, 2011.

[Ne16] Nestmann, Markus: , Erstellung einer einheitlichen Taxonomie für die Programmiermodelle der parallelen Programmierung, 2016. http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:bsz:ch1-qucosa-224238.

[Wr06] Wright, Charles: Hybrid programming fun: Making bzip2 parallel with MPICH2 & Pthreads on the Cray XD1. In: CUG'06, 48th Cray User Group Conference. volume 1. Citeseer, 2006.

[Zh07] Zhang, Yunquan; Chen, Guoliang; Sun, Guangzhong; Miao, Qiankun: Models of parallel computation: a survey and classification. Frontiers of Computer Science in China, 1(2):156–165, 2007.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 2413

Towards a Shared Evaluation Environment for Software-defined Networking

Addis Dittebrandt, Michael König and Felix Neumeister [1]

Abstract: The evaluation of Software-defined Networking control plane applications is a complicated task with many pitfalls. This paper introduces the vision of a shared evaluation environment for Software-defined Networking (called SEED), setting out to ease and speedup the process of designing, setting up and replicating simulative evaluations for both the researcher and reviewer. SEED introduces an additional configuration layer on top of existing simulators, specifically tailored towards SDN-research. SEED allows to load saved configuration files and run simulations based on them. It separates the specification of the simulated network from the application to evaluate and the precise experiment specification. This allows to publish, review and reuse simulation scenarios independently from applications. By exposing a unified interface for different simulators, it aims to cover a variety of use cases and make the configurations more widely usable.

Keywords: Software-defined Networking, SDN, SDN-applications, networking, evaluation, reproduction, replication, repetition, simulation, toolchain

1 Introduction

Much effort in the research community of Software-defined Networking (SDN) is put into the evaluation of so-called SDN-applications which provide functionality such as routing or monitoring. Such an application sits on top of a logically centralized controller and alters network state through the controller's northbound API [KL15]. The evaluation of such applications is often done by using network simulators. The design of a meaningful simulative evaluation requires many choices on the utilized scenarios, the construction of those, their parametrization as well as the metrics to log. While all of these aspects have to be specified when configuring the simulation, many rarely change in different evaluations. However, since the specifications of experiments are rarely shared and more rarely reused, this time consuming and error-prone effort is often duplicated.

This paper therefore proposes the concept of a Shared Evaluation Environment for Software-defined Networking (called SEED). SEED is based on top of existing simulation environments and aims to ease the evaluation process of Software-defined Networking-applications as a whole from scenario design and specification over environment setup and simulation execution to collection and processing of results. It provides unified interfaces with which applications and scenarios are integrated into the simulation. Its design structure makes it

[1] Karlsruhe Institute of Technology, Institute of Telematics,
{addis.dittebrandt,michael.koenig2,felix.neumeister}@student.kit.edu

doi:10.18420/in2017_246

easier for researchers to share their created scenarios and applications. Other researchers can thus validate and reuse them in the evaluation of their applications, thus considerably reducing the overhead.

The contributions of this paper are:

- The identification of stakeholders towards SEED and their requirements.
- Insights gained through an exemplary paper reproduction (Shortcomings without using SEED).
- Results of a paper study, investigating the feasibility and requirements for SEED.
- The design of SEED.

2 Problem Statement and Gap Analysis

In order to make well-informed design choices, we conducted an analysis of current evaluation practices and their pitfalls. Section 2.1 identifies the stakeholders for SEED and their respective requirements towards it. This consideration is necessary to identify the aspects to look out for when examining current evaluation practices in sections 2.2 and 2.3. These sections outline the approach and findings of a paper reproduction and paper study respectively. At last, the resulting problem statement in relation to the findings in the previous sections will be given (sec. 2.4).

2.1 Stakeholders

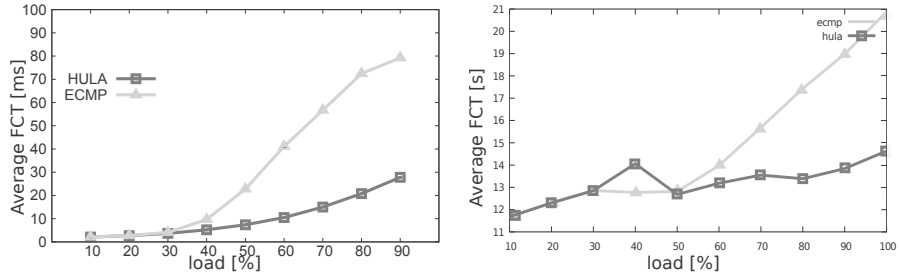
We identified the following stakeholders that can use SEED.

Researcher As SEED aims to ease the evaluation of Software-defined Networking applications, the first stakeholder we identified is the researcher who has developed an application. When it comes to the evaluation of the developed application, the researcher has to set up the evaluation environment as well as a specific scenario. Furthermore, he needs to reimplement competing applications if they were not compatible with this environment. This poses a high overhead and it is, as will be shown, redundant and error prone. To ease this process, SEED needs to fulfill the following requirements: (1) SEED needs to enable the sharing of applications and scenarios. (2) These shared applications and scenarios must be openly accessible. The main problem that arises is how scenarios can be shared, e.g. the utilized format and interface. This problem does not arise with applications as they already utilize established northbound (e.g. Floodlight) or southbound (e.g. OpenFlow) interfaces.

Reviewer Artifact review (e.g. source code, evaluation environment) is becoming more and more important, as seen in recent discussion [Reb]. In order for reviewers to reproduce results, they have to obtain the artifacts from the researcher and set up the contained environment. This process is, as experience shows, often very complex due to a lack of standard structure and documentation. The same requirements as with the researcher hold true for the reviewer. Additional requirements are: (1) Given the application, the scenario

and utilized parameters, replication of research results should be easy. (2) Scenarios must be easily exchangeable to enable evaluation with different scenarios.

2.2 Insights into Paper Reproductions



(a) Original Results [Ka16] (b) Reproduced Results

Fig. 1: Initial results of paper reproduction (HULA)

In order to identify the problems associated with reproduction of evaluations, we reproduced the evaluations of papers in the context of Software-defined Networking. One of these papers was HULA [Ka16], a modern approach to scalable load-balancing.

The following difficulties to reproduce evaluation results subsequently lead us to the observation that reproduction and evaluation can be an elaborate and error-prone process, especially in regards to the details of traffic and topology creation, but also in terms of the configuration of the SDN-application itself.

To evaluate their algorithm the HULA authors used a data center topology, a fat-tree topology with two pods. For the traffic two workloads based on findings from [Al10] and [Gr09] were used by the HULA authors. The average flow completion times for three competing algorithms – namely HULA, ECMP (Equal-cost multi-path routing), and CONGA [Al14] – were compared for different levels of network-load.

For our reproduction we implemented both the HULA algorithm and ECMP as a ns-3 module and used the same fat-tree topology as the original evaluation. However, we used much lower link-speeds (4MBit/s, resp. 40MBit/s) compared to the original setup (40GBit/s) for our initial simulations, due long simulation times for higher bandwidths. To recreate the network-loads we tried to produce traffic with the same properties as used by the HULA authors. The traffic generated based on the few information provided in the HULA paper yielded in too different results. Therefore we additionally implemented a simpler load generator, which is based on bulk traffic senders, to create the necessary levels of load.

Compared to the original HULA evaluation both our HULA and ECMP implementation achieved qualitatively similar results in our reproduction setup for lower link-speeds (see curve progression of Fig.1 (a) and (b)). Here, our implementation of HULA attains the

expected much lower flow completion times than ECMP, especially when used in cases with high network-load. For now, we could not reproduce the same, expected behavior for higher link-speeds. This could be due to different approaches to the traffic generation or due to deviating configuration of the HULA application itself (probe frequency, etc.). Therefore we are in contact with the authors about the details of the traffic generation.

Hence an uniform way to document and to pass on the necessary information in order to reproduce evaluation setup would simplify the reproduction process.

2.3 Paper Study

After we identified the above problems, we did a paper study to analyze how Software-defined Networking evaluation is done in a broader sense and to collect further requirements for SEED in order to simplify the evaluation process.

We chose 34 papers from various conferences in the field of Software-defined Networking (SOSR'16, SIGCOMM'16, CoNEXT'16, NSDI'16 and OSDI'16). The evaluation sections of the papers were of particular focus. The type of evaluation, utilized scenarios, controller software (for OpenFlow papers) and the benefit of SEED for those papers (if it were used for evaluation) were aspects of concern.

Most papers relied on experimental/testbed evaluation (75%), 40% on analysis and 25% on simulative evaluation (Many papers used more than one type of evaluation). As much as 40% utilized custom or very simple topologies. Otherwise we saw a higher prevalence of Campus (30%) and Datacenter (15%) scenarios. For papers that are set in the OpenFlow domain, we analyzed the utilized controller platforms as well. While many papers did utilize standard controller software such as Ryu (15%), Floodlight (15%) or OpenDayLight (8%), more than half of the papers employed custom controller software.

Therefore we gained the following key insights: (1) Datacenter and Campus scenarios should be provided with higher priority by SEED, as those were utilized the most after custom scenarios. (2) Support for a wide variety of controller platforms must be strongly considered, as there is no single platform used among the papers, but rather many entirely custom platforms. (3) SEED will act as an additional means of evaluation rather than being the main method. This is due to two factors: First, as SEED will be based on simulative evaluation and most papers having utilized the experimental approach for evaluation, having those migrate to the simulative domain can be regarded as too big of paradigm shift. Second, as most papers used either very simple or custom scenarios which are not necessarily representative, here, SEED could also provide additional means of evaluation on representative scenarios.

2.4 Conclusion

The insights gained from our reproduction efforts and the conducted paper study show that the evaluation and the reproduction of SDN-applications has reoccurring prerequisites: Selection and configuration of suitable topologies and traffic information, multiple parameterized

runs of the SDN-application itself, setup of simulator or testbed as well as logging of needed measurement values and the following post-processing and interpretation of these measurements.

While the reproduction of an evaluation with all its necessities, such as fitting choices for traffic and topology as well as correct configuration of the SDN-applications seems to be error-prone and time consuming, coincidentally many research utilize the same kind of scenarios (i.e. with similar properties) to evaluate their applications.

Motivated by the similarities of these evaluation necessities we conclude that an environment that provides tools for these shared and common evaluation prerequisites and helps with the reoccurring tasks, could both improve and simplify the evaluation process.

3 Shared Evaluation Environment

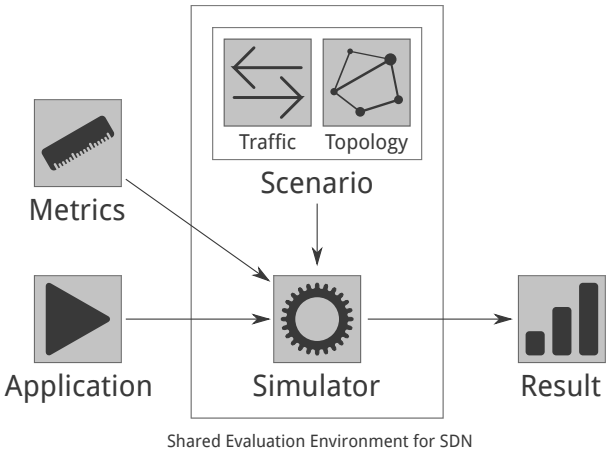


Fig. 2: Components of a Shared Evaluation Environment for SDN (SEED)

We envision to establish a shared evaluation environment, capable of covering as many as possible evaluation techniques in the context of Software-defined Networking. It should ease both the evaluation of SDN-applications and solutions as well as the review and reproduction of the evaluation. Our approach to achieve this goal is to structure and streamline the setup and configuration process of exiting simulators and make it easy for researchers to share their setup with reviewers and other researchers. Specifically SEED introduces an additional configuration layer on top of existing simulators. This should mainly reduce configuration overhead for both researchers and reviewers.

Since SEED is not part of the actual simulation, its focus does not lie on the correctness of simulations in general.

3.1 Components

SEED strives to make the sharing and reusing of configurations easier. This is achieved by separating the specification into three main parts: The application to evaluate and its setup (sec 3.1), the network and specifically the scenario to evaluate the application in (sec 3.1) and the specification of the experiment itself. This allows more comprehensive evaluation by making it possible to easily interchange the evaluation scenario. This interchangeability works both ways and also makes the evaluation of different applications in the same scenario easier, thereby encouraging the comparison of different approaches.

The separation additionally allows to bind the actual network configurations to independent, reusable bundles and publish them independently from applications, making it possible subject them to a review process. The application and its setup are the second building block in the configuration. It has to be specified independently from the evaluation scenario and able to stand for itself. These two building blocks are connected in the experiment specification. It gives, among others, details on events during the simulation, variables to log and additional configuration parameters for the two underlying building blocks. This specification should be the only component introducing dependencies between the scenarios and the applications.

Scenarios An integral part to evaluate SDN-applications are the scenarios and their network characteristics in which these applications are deployed. Depending on the nature of these network scenarios, an SDN-application might not be usable or behave differently. In order to evaluate the behavior of SDN-applications in different scenarios, the characteristics of the corresponding topologies and traffic need to be known and modeled.

A state-of-the-art study conducted by us beforehand has shown that modeling of traffic patterns and topologies with all the essential characteristics of a real network is often time consuming and that the usage of the available generators to create these have often non-obvious peculiarities such as special configuration options or that they are only suitable for niche cases ([BDP10], [Kr07]). Furthermore, the modeling of different contexts is itself still an ongoing research topic in terms of topology as well as traffic modeling (cf. the vastly different approaches to infer the shape of the Internet on AS-level). To use up-to-date and optimal fitting methods to create these evaluation requisites a researcher has to make extensive preparations and additionally each researcher has to redo these efforts each time so far on her own.

Therefore, we propose the idea of a collection of prefabricated combinations of topology data and suitable traffic information in so-called *scenario-bundles*. Each selected to match a specific scenario – e.g. a Data-Center Network with its fat-tree topology and corresponding traffic. For this purpose the lowest common denominator of similar scenarios from multiple evaluations could be used as an initial starting point to collect the necessary information for these *scenario-bundles*. These *scenario-bundles* in turn can then be utilized to recreate and compare them to existing research results in order to evaluate and improve their

representativeness. The incorporation of feedback provided by a community using and sharing these bundles could improve the quality and accuracy of these bundles further.

The goal is to provide a "database" of these *scenario-bundles* to choose from. By that we want to release the individual researcher from the time consuming necessity to search for and select suitable and up-to-date tools to do this — hence the researcher can focus on improving and evaluating their actual SDN-applications.

Furthermore, such a collection of curated bundles enables the community to faster incorporate new ideas and current research findings. Subsequently replace outdated models with more representative ones more quickly. Therefore we want to develop these *scenario-bundles* publicly, along with the necessary tools to create them and the rest of SEED itself.

We explicitly invite the community as a whole to participate with feedback and ideas to establish such a crowdsourced "database" of *scenario-bundles* to be used as a shared source for various networking evaluations.

App integration Since fast setup and fast reproduction are key in the list of requirements for SEED, the setup and start of applications to evaluate have to be considered. Especially the installation of solutions has shown to be unnecessarily time consuming. Specifically the fact that the published software often lacks installation scripts and sometimes even lacks README files. SEED should help with this issue by making it easier to specify the setup and by defining a unified interface for installation, configuration, startup and tear down.

The way, the application interacts with the simulators has a considerable impact on the group of fitting simulators, their configuration and the setup and tear-down procedures. SEED combats this by requiring a dedicated configuration file for every software to test. This file allows to specify requirements for the environment, override its configuration and methods, specify the integration method (e.g. TAP-device or symbolic link) and link scripts for setup and tear-down, should the configuration options of SEED be insufficient.

The above introduced requirements not only benefit the goal of fast reproducibility: It is also beneficial for a researcher to have a clear starting point and streamlined configuration options. Our own experiences have shown that the early specification of installation, startup and tear-down functions significantly increases productivity over the long run.

Simulators As SEED is based in the simulative domain, it needs to be ensured that simulation in the context of Software-defined Networking, especially OpenFlow, is possible. An analysis of existing simulators was therefore conducted with regards to this capability, namely fs [So11], ns-3 [ns] and the OFSwitch13 extension for ns-3 [CGM16]. Those simulators were chosen as they all possess OpenFlow capablity. fs posed as the most promising simulator as it is a flow-level simulator which would enable evaluation in large scenarios. The analysis shows that it only provides support for a very basic OpenFlow version 1.0 featureset with features such as monitoring and modify-field actions missing. ns-3 is promising as it is a well-known packet-level simulator. Here, the analysis shows that ns-3

only provides an obsolete OpenFlow implementation. This is remedied by the OFSwitch13 extension. This extension provides functional and very complete OpenFlow v1.3 support, along with a switch model that incorporates flow table lookup delays. We therefore came to the conclusion that simulation in the context of Software-defined Networking is indeed possible with ns-3 and the OFSwitch13 extension being chosen as the simulator on which we base SEED. We still consider to incorporate other simulators or even the Mininet emulator [LHM10] due to its widespread use in this field.

Usability We plan to make this approach usable through a combination of software packets, documentation and guidelines for researchers on specifying their solutions. Here the use of suitable interfaces for the specification of scenarios, experiments and setup and startup procedures is key. All specifications will be done in XML-Files. This makes sharing and interchanging them much easier as oppose to using scripts. Additionally, each scenario or application should be contained in its own separate folder, making it easy to pack and distribute. The documentation and guidelines mentioned above should help make this separation easy to achieve without introducing major overhead.

3.2 Benefits to Stakeholders

The above identified stakeholders can profit in different ways from SEED. The researcher benefits from the clear structure and streamlined interfaces, since this reduces both the overhead for specification and the room for error. The capability to share and easily swap the network configuration also offers a number of advantages. Most importantly the possibility to reuse configurations from other researchers. This makes it easier to do a more comprehensive evaluation with a greater variety of scenarios. Lastly, it allows the independent sharing and reusing of parts of the specification, which makes it easier to get feedback from other researchers.

SEED also benefits reviewers. The structure allows reviewers to not only easily rerun shared experiments but also perform tests in other scenarios, making it easier to assess the general usability of a solution aside from the possibly hand-tuned scenarios, done by the researcher.

4 Related Work

SAFE [PMW12] and FNSS [SCP13] are existing tools that aim to ease evaluation in computer networks. SAFE streamlines the workflow of the ns-3 simulator by introducing a web interface where experiments can be dispatched among a set of worker machines. Results of the experiments are then collected into a central database with options to further process the collected data, e.g. by generating visualizations. FNSS is a toolchain which eases simulation setup and configuration by providing functionality in the form of a Python library to import and/or generate topology and traffic descriptions. FNSS provides support for multiple simulators (e.g. ns-3, OMNeT++ and Mininet) which consume these descriptions via adapters provided by FNSS. Both SAFE and FNSS lack explicit SDN support (the concept of SDN-applications and controller platforms). SAFE has no notion of a scenario format but instead relies on ns-3. This couples SAFE to the ns-3 simulator. While FNSS

possesses a format for scenarios, traffic is specified through traffic matrices which we regard as insufficient. Furthermore, SAFE and FNSS are only concerned with parts of the evaluation process. While FNSS is primarily concerned with simulation setup and configuration, SAFE shows a bigger focus on execution of the simulation as well as collection and processing of results.

Such tools also exist in a broader scope. The Pantheon of Congestion Control [St] enables consistent evaluation and comparison of congestion control mechanisms by leveraging the common TCP protocol interface. Reproducing Network Research [Rea] collects research stories as well as replication instructions of papers in the branch of computer networks. It focuses solely on easing replication by providing clear documentation for this process and thus does not aim to ease evaluation at all. Collective Knowledge (cKnowledge) [FLP16] aims to promote and help researchers to create and share artifacts that are reusable and reproducible. Due to its broad scope, no unified interfaces exist that can be leveraged. Furthermore, cKnowledge is more tailored to systems programming.

5 Conclusion

We identified the need for a shared evaluation environment in the field of Software-defined Networking. Evaluation and reproduction are not trivial tasks which pose a high overhead and are potentially error-prone. We have identified researchers and reviewers as stakeholders for SEED and collected further requirements by conducting a paper study with a focus on how the evaluation of the respective papers was carried out and an exemplary paper reproduction on the HULA paper. We then presented the architecture of SEED as well as the concept of scenarios. We showed the feasibility of SEED with regards to simulators by analyzing the capabilities of them and selected ns-3 with the OFSwitch13 extension as a base for SEED. Preliminary results which already provide exchangeable applications and traffic generation indicate a promising direction for SEED.

Future work needs to be conducted on fully realizing SEED and provide first scenarios, namely a datacenter and campus scenario.

Acknowledgements

The conception and development of SEED is done in the context of a student project as part of the course “Research in Practice”, which is funded by “Bundesministerium für Bildung und Forschung” (BMBF) with the program “KIT-Lehre$^{\text{Forschung}}$” (FKZ: 01PL12004). It aims for an early incorporation of students into research. During a timespan of two semesters, students carry out all phases of a research project, namely the identification of the state-of-the-art, writing a project application, conducting the research project and finally writing the results in the form of a research paper.

Currently, the first half of the project is finished with the state-of-the-art and project application phases while the second half with conducting the project is underway.

Additionally we thank our supervisors R. Bauer, M. Flittner, M. Hock and M. Zitterbart for their feedback and encouragement. Further we want to thank the Institute of Telematics, KIT for the support and the equipment they provided.

Also we want to thank the anonymous reviewers for their comprehensive feedback.

References

[Al10] Alizadeh, Mohammad; Greenberg, Albert; Maltz, David a.; Padhye, Jitendra; Patel, Parveen; Prabhakar, Balaji; Sengupta, Sudipta; Sridharan, Murari: Data center TCP (DCTCP). ACM SIGCOMM Computer Communication Review, 40(4):63, 2010.

[Al14] Alizadeh, Mohammad; Edsall, Tom; Dharmapurikar, Sarang; Vaidyanathan, Ramanan; Chu, Kevin; Fingerhut, Andy; The, Vinh; Google, Lam; Matus, Francis; Pan, Rong; Yadav, Navindra; Microsoft, George Varghese: CONGA : Distributed Congestion-Aware Load Balancing for Datacenters. Sigcomm 2014, pp. 503–514, 2014.

[BDP10] Botta, Alessio; Dainotti, Alberto; Pescapé, Antonio: Do you trust your software-based traffic generator? IEEE Communications Magazine, 48(9):158–165, 2010.

[CGM16] Chaves, Luciano Jerez; Garcia, Islene Calciolari; Madeira, Edmundo Roberto Mauro: OFSwitch13. In: Proceedings of the Workshop on ns-3 - WNS3 '16. ACM Press, New York, New York, USA, pp. 33–40, 2016.

[FLP16] Fursin, Grigori; Lokhmotov, Anton; Plowman, Ed: Collective Knowledge: Towards R&D Sustainability. In: Proceedings of the 2016 Conference on Design, Automation & Test in Europe. DATE '16, EDA Consortium, San Jose, CA, USA, pp. 864–869, 2016.

[Gr09] Greenberg, Albert; Hamilton, James R; Jain, Navendu; Kandula, Srikanth; Kim, Changhoon; Lahiri, Parantap; Maltz, David a; Patel, Parveen; Sengupta, Sudipta: VL2: A Scalable and Flexible Data Center Network. ACM SIGCOMM Conference on Data Communication, pp. 51–62, 2009.

[Ka16] Katta, Naga; Hira, Mukesh; Kim, Changhoon; Sivaraman, Anirudh; Rexford, Jennifer: HULA: Scalable Load Balancing Using Programmable Data Planes. In: SOSR. 2016.

[KL15] Kim, Younggi; Lee, Younghee: Automatic Generation of Social Relationships between Internet of Things in Smart Home Using SDN-Based Home Cloud. In: Proceedings - IEEE 29th International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops, WAINA 2015. IEEE, pp. 662–667, mar 2015.

[Kr07] Krishnamurthy, Vaishnavi; Faloutsos, Michalis; Chrobak, Marek; Cui, Jun Hong; Lao, Li; Percus, Allon G.: Sampling large Internet topologies for simulation purposes. Computer Networks, 51(15):4284–4302, 2007.

[LHM10] Lantz, Bob; Heller, Brandon; McKeown, Nick: A network in a laptop. In: Proceedings of the Ninth ACM SIGCOMM Workshop on Hot Topics in Networks - Hotnets '10. ACM Press, New York, New York, USA, pp. 1–6, 2010.

[ns] ns-3. `https://www.nsnam.org/`. (Accessed on 05/03/2017).

[PMW12] Perrone, L Felipe; Main, Christopher S; Ward, Bryan C: SAFE: Simulation automation framework for experiments. 978. IEEE, pp. 1–12, dec 2012.

[Rea] Reproducing Network Research | network systems experiments made accessible, runnable, and reproducible. https://reproducingnetworkresearch.wordpress.com/. (Accessed on 05/03/2017).

[Reb] Result and Artifact Review and Badging. https://www.acm.org/publications/policies/artifact-review-badging. (Accessed on 05/03/2017).

[SCP13] Saino, Lorenzo; Cocora, Cosmin; Pavlou, George: A Toolchain for Simplifying Network Simulation Setup. Proceedings of the 6th International ICST Conference on Simulation Tools and Techniques, pp. 82–91, 2013.

[So11] Sommers, Joel; Bowden, Rhys; Eriksson, Brian; Barford, Paul; Roughan, Matthew; Duffield, Nick: Efficient network-wide flow record generation. Proceedings - IEEE INFOCOM, pp. 2363–2371, 2011.

[St] StanfordSNR/pantheon: Pantheon of Congestion Control. https://github.com/StanfordSNR/pantheon. (Accessed on 05/03/2017).

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 2425

Verschlüsselte E-Mails auf mehreren Endgeräten

Jakob Bode[1], Matthias Sekul[1] und Tobias Schülke[1]

Abstract: Trotz der bereits langen Existenz von E-Mail-Verschlüsselungsverfahren wie z.B. PGP verwenden wenige E-Mail-Nutzer diese Lösungen. Vielfach wird damit argumentiert, dass die Anwendung dieser Verfahren zu kompliziert sei. Dies bezieht sich häufig auf die Benutzerschnittstelle. Wir sehen ebenfalls ein Problem in der komplizierten Verwaltung der Schlüssel. Um die Verwaltung der Schlüssel zwischen mehreren Geräten zu ermöglichen, haben wir eine Bibliothek geschrieben, die einen verschlüsselten und authentifizierten Kanal zwischen zwei Geräten aufbaut. Darüber kann auf sehr einfache Weise ein privater Schlüssel übertragen werden. Diese Lösung haben wir in die OpenKeychain App[2], die zusammen mit K-9-Mail[3] zum weit verbreiteten Kombination für PGP unter Android gehört, eingebaut. Die von uns implementierte Möglichkeit der Übertragung haben wir mit bereits existierenden Möglichkeiten mittels Cognitive Walkthrough [Po92] verglichen und festgestellt, dass sie die Übertragung deutlich vereinfacht.

Keywords: Privater Schlüssel; Kryptographie; Device Pairing; E-Mail; Smartphone

1 Einleitung

Seit einigen Jahren erfreuen sich Cryptomessenger immer größerer Beliebtheit. Dies liegt auch an der weiten Verbreitung von Smartphones und Tablets, auf denen diese vorrangig genutzt werden. Dagegen besteht nur eine geringe Nutzung von verschlüsselter E-Mail auf diesen Geräten. Vergleicht man die Anzahl der Downloads von Whatsapp (1 bis 5 Milliarden)[4] mit denen von OpenKeychain (100 bis 500 Tausend)[5], einem Schlüsselmanager, der zusammen mit K-9-Mail zu einem der am häufigsten verwendeten Möglichkeiten zur E-Mailverschlüsselung auf Android zählt, wird das Missverhältnis zwischen Cryptomessengern und verschlüsselter E-Mail sehr deutlich. Unserer Hypothese nach liegt das auch in der Schwierigkeit begründet, verschlüsselte E-Mails auf mobilen Endgeräten zu verwenden. Zwar wurden viele Nutzungsaspekte verschlüsselter E-Mail in den letzten Jahren deutlich verbessert, jedoch bezog sich dies oft auf Desktop-Anwendungen. Wenig Beachtung fand die Problematik, dass E-Mails häufig nicht nur auf einem, sondern auf mehreren Geräten gelesen und geschrieben werden. Dadurch ist ein Schlüsselmanagement von privaten Schlüsseln

[1] Freie Universität Berlin, Fachbereich Informatik, Takustraße 9, 14195 Berlin, Deutschland vorname.nachname@fu-berlin.de

[2] https://www.openkeychain.org/

[3] https://k9mail.github.io/ E-Mail App mit OpenKeychain Unterstützung

[4] https://play.google.com/store/apps/details?id=com.whatsapp&hl=de

[5] https://play.google.com/store/apps/details?id=org.sufficientlysecure.keychain&hl=de

doi:10.18420/in2017_247

zwischen mehreren Geräten nur wenig umgesetzt worden.
Um diesen Zustand zu verbessern, haben wir im Rahmen eines Softwareprojektes an der Freien Universität Berlin OpenKeychain um eine für Nutzer einfach verwendbare Möglichkeit erweitert, private Schlüssel zwischen verschiedenen Geräten auszutauschen.
Im Folgenden werden wir uns auf den Transfer von privaten Schlüsseln vom Desktop zum Smartphone fokussieren. Dabei werden wir erst einen Einblick in vorhandene Literatur geben und im Anschluss kurz beschreiben, gegen welche Angreifer wir uns schützen möchten, um danach die bisher in OpenKeychain vorhandenen Verfahren zu analysieren. Dies tun wir in Form eines Cognitive Walkthroughs. Danach stellen wir unsere Lösung vor und vergleichen sie mit den existierenden Verfahren. Abschließend folgt unser Fazit.

2 Verwandte Arbeiten

Seit vielen Jahren wird nach einer Möglichkeit gesucht, E-Mail-Verschlüsselung für eine breite Masse nutzbar zu machen. Besonder Fokus wurde dabei auf die Benutzerschnittstelle in der Hinsicht gelegt, dem Nutzer ein besseres Verständnis für sein Handeln zu ermöglichen. Hierbei wurde u.a. darauf geachtet, dass dem Nutzer bewusst ist, wann er verschlüsselt, wann nicht, ob eine erhaltene E-Mail von einem gültigen, vertrauten Schlüssel signiert wurde und welche Gefahren von einem sich ändernden Schlüssel ausgehen können. Nachdem diese Aspekte anfänglich in Implementierungen kaum umgesetzt wurden [WT99], wurden im Laufe der Zeit bessere Darstellungen gefunden, dem Nutzer einen Überblick zu gewähren [GM05, Ru16]. Es ist immer noch Entwicklungsbedarf vorhanden [Ru15].
Ein anderer Zweig der Forschung beschäftigt sich intensiver mit dem Austausch von öffentlichen Schlüsseln und der Verifizierung derer [Fa13]. Hier wird die Nutzung vereinfacht, indem andere Partner, mit denen verschlüsselt kommuniziert werden soll, leicht zu finden bzw. hinzuzufügen sind.
Wir betrachten die Thematik aus einer anderen Perspektive und fokussieren uns auf die Schlüsselsynchronisierung zwischen den eigenen Geräten. Denn heute in Zeiten von kurzlebigen Smartphones und mehreren anderen Geräten, die von einem Nutzer verwaltet werden, ist dies ein Hemmnis für die weite Verbreitung von verschlüsselter Kommunikation. Schließlich müssen Nutzer bei jedem Gerät umständlich ihre Schlüssel aufspielen. Eine Lösungsmöglichkeit ist die Verwendung eines zentralen Servers, auf dem sich die Schlüssel befinden. Dieser Ansatz ist auch bei der E-Mail[6] vorhanden. Das Problem hierbei ist, dass einem weiteren Server vertraut wird und dieser auch erreichbar sein muss. Ebenfalls ist eine zusätzliche Anwendung notwendig.
Unsere Lösung basiert auf Device Pairing [NR10], dabei wird über einen für Angreifer nicht veränderbaren, aber u.U. abhörbaren Kanal mit geringer Bandbreite der jeweilige Kommunikationspartner beim Verbindungsaufbau authentifiziert. Hier gibt es verschiedene Möglichkeiten, wie ein solcher Kanal aussehen kann [KFR09]. Wir haben uns auf einen visuellen Kanal in Form eines QR-Codes, der von einem Teilnehmer angezeigt und vom anderen gescannt werden muss, entschieden.

[6] https://keybase.io/

3 Angreifermodell

Wir gehen davon aus, dass beide Geräte nicht kompromittiert sind. Weiterhin kann ein Angreifer die Verbindung zwischen den Geräten bzw. Anwendungen nicht belauschen oder mögliche Nachrichten verändern. Eine Ausnahme bildet der visuelle Kanal zwischen den Geräten, der für den Angreifer jedoch ebenfalls weder lesbar noch beschreibbar ist.

4 Bereits existierende Verfahren

Wir haben die Erweiterung in OpenKeychain mit dem Ziel implementiert, dass ein privater Schlüssel sehr einfach vom Desktop-Rechner auf ein Smartphone mit OpenKeychain importiert werden kann. Deshalb fokussieren wir uns in unserer Auswertung auf diese Übertragung. Das Verfahren lässt sich ebenfalls dazu nutzen, zwischen zwei Smartphones Schlüssel auszutauschen oder einen Schlüssel vom Smartphone auf einen Desktop-Rechner zu spielen.
In den offiziellen OpenKeychain FAQ[7] werden mehrere Möglichkeiten genannt, einen bereits existierenden privaten Schlüssel auf das Smartphone in die OpenKeychain zu transferieren. Dabei wird besonders darauf hingewiesen, dass ein Mitschneiden des Schlüssels durch Dritte unterbunden werden muss. Hierfür wird insbesondere auf die in GnuPG[8] (kurz: gpg) eingebaute symmetrische Verschlüsselung hingewiesen. Im Wesentlichen werden hier drei Transfermöglichkeiten genannt: Übertragung per SD-Karte, Übertragung per E-Mail und Übertragung über Filehosting-Dienste (im Folgenden „Cloud“).
Ergänzen ließe sich in dieser Liste noch der Transport per USB-Kabel, mit dem das Smartphone direkt am Rechner angeschlossen wird. Diese Möglichkeit ähnelt stark der SD-Karten-Variante, weshalb wir sie gemeinsam unter dem Punkt SD-Karte/USB-Kabel behandeln.
Jedes der besprochenen Verfahren folgt einem groben Schema. Zuerst wird der private Schlüssel auf dem Desktop-Rechner exportiert und verschlüsselt. Im Anschluss wird dieser auf das Smartphone übertragen und dort in OpenKeychain importiert. In jedem Fall gehen wir davon aus, dass der Nutzer bereits einen existierenden Schlüssel auf seinem Desktop-Rechner besitzt, den er aus gpg exportieren möchte.

4.1 SD-Karte/USB-Kabel

Der Import privater Schlüssel mittels SD-Karte verlangt das Vorhandensein von entsprechender Hardware (Karte und Slots bzw. USB-Kabel).
Der Nutzer muss auf dem Desktop-Rechner seinen Schlüssel in eine Datei exportieren. Das

[7] https://www.openkeychain.org/faq/#what-is-the-best-way-to-transfer-my-own-key-to-openkeychain
[8] https://gnupg.org/index.html

lässt sich über die in den FAQ beschriebenen gpg Befehle erledigen. Für viele wird das zu kompliziert sein.
Als Alternative gibt es Programme mit graphischer Schnittstelle wie das Enigmail-Plugin[9] für Thunderbird, die einen Export der Schlüssel ermöglichen. Bei dem Export wird im besten Fall der Schlüssel des Nutzers mit einem sicheren Passwort verschlüsselt und in einer Datei abgelegt. Das ist allerdings nicht immer der Fall. Kann der Nutzer selbst ein Passwort festlegen, wird er vermutlich eines wählen, das für einen Angreifer leicht zu erraten oder zu errechnen ist [Ur15]. Im schlimmsten Fall wird der private Schlüssel unverschlüsselt abgelegt.
Die Schlüsseldatei muss im Anschluss auf die SD-Karte übertragen und, nachdem die Karte in das Smartphone gesteckt wurde, in OpenKeychain importiert werden. Dabei gibt es zwei Vorgehensweisen: Das Importieren der Datei direkt aus OpenKeychain heraus und das Importieren über den Dateimanager des Smartphones. Wir betrachten zuerst den letzteren Fall. Über den Dateimanager wird von dem Nutzer die Datei ausgewählt, woraufhin ein Dialog (siehe Abbildung 1) erscheint, der ihn vor die Wahl stellt, entweder die Schlüsseldatei zu entschlüsseln (oben rechts) oder sie zu importieren (unten links). Wurde die Datei verschlüsselt, muss „entschlüsseln“ ausgewählt werden. Wird stattdessen der Import des Schlüssels gewählt, schlägt der Vorgang fehl. Das ist aus Nutzersicht schlecht. Der Import des Schlüssels ist das eigentliche Ziel, weshalb ein Auswählen dieses Buttons logisch erscheint.



Abb. 1: Auswahldialog nach Selektieren der Datei

Nachdem der richtige Button gewählt wurde, muss bei vorheriger Verschlüsselung der Datei das entsprechende Passwort eingegeben werden. Im Anschluss bestätigt der Nutzer noch, dass er den Schlüssel importieren möchte.
Der Import aus OpenKeychain heraus umgeht dabei den Dialog aus Abbildung 1. Nach der Auswahl der Datei muss der Nutzer das Passwort eingeben und den Import des Schlüssels bestätigen.
Hervorzuheben ist bei diesem Verfahren, dass die Schlüsseldatei sich für einige Zeit im allgemeinen Speicher des Smartphones befindet, auf den alle Apps Zugriff haben. Um zu verhindern, dass unintendierte Apps Zugriff auf den Schlüssel erhalten, ist eine sichere

[9] https://www.enigmail.net/index.php/en/

Verschlüsselung vonnöten. Diese ist, wie oben gezeigt, durch kritische Nutzerfehler nicht immer vorhanden. Ebenso sind viele Interaktionsschritte notwendig.

4.2 E-Mail

Möchte der Nutzer seinen Schlüssel per E-Mail übertragen, muss er diesen, wie im vorherigen Abschnitt beschrieben, exportieren und verschlüsseln. Anschließend schreibt er eine E-Mail, die auf dem Smartphone empfangen wird. Die Schlüsseldatei fügt er als Anhang hinzu. Nach der Öffnung der E-Mail auf dem Smartphone wählt er den Anhang aus. Es erscheint der gleiche Dialog, wie in Abbildung 1 dargestellt. Das heißt, dass der Nutzer hier ebenfalls vor dasselbe Problem gestellt wird und womöglich die falsche Aktion wählt. Die nachfolgenden Schritte sind die gleichen wie bei der SD-Karte.
Hat der Nutzer ein schlechtes oder gar kein Passwort zum Verschlüsseln der Schlüsseldatei gewählt, gibt er seinen Schlüssel beim Versenden per E-Mail vielen potentiellen Angreifern preis. Seine E-Mail befindet sich mindestens auf den Mailservern der Absender- und Empfängerseite. Außerdem durchläuft die E-Mail während des Versandes womöglich weitere Server, die somit wenigstens temporär zur E-Mail Zugang erhalten.
Gelingt es einem Angreifer, in diese E-Mail-Konten oder -Server einzudringen, erhält er dadurch Zugang zum Schlüssel und kann die E-Mails, die u.U. gerade zum Schutz vor einem solchen Angreifer verschlüsselt wurden, lesen.

4.3 Cloud

Zur Verwendung einer Cloud, die zu Fliehosting-Zwecken dient (z.B. Dropbox[10]), muss diese auf Desktop-Rechner und Smartphone eingerichtet sein. Der Export des Schlüssels läuft wie in 4.1 beschrieben. Anstatt auf die SD-Karte wird die Schlüsseldatei hier auf den Fileserver übertragen.
Nun bieten sich dem Nutzer zwei Möglichkeiten: Die Datei kann entweder aus OpenKeychain importiert werden. Dabei gleicht der Vorgang dem der SD-Karte bis auf den Unterschied, dass nicht auf den lokalen, sondern auf den Online-Speicher zugegriffen wird. Andererseits kann die Datei aus der App des entsprechenden Cloud-Anbieters geladen werden. Hier gleicht das Vorgehen dem des Importierens via Dateimanager in 4.1. Der Nutzer bekommt auch den Dialog aus 1 zu sehen und verwendet dieselben Schritte im Anschluss.
Ein größeres Problem als bei der SD-Karte oder der E-Mail stellt hier ein schlecht gewähltes Passwort dar. Ist die Schlüsseldatei in die Cloud geladen, können alle damit verknüpften Geräte auf die Datei zugreifen. Dies sind folglich potentiell mehr Anwendungen. Ebenso hat der Cloudanbieter Zugriff auf die Datei. Das erhöht die Gefahr, dass ein Angreifer Zugang zu der Datei und damit zu dem Schlüssel erhält, insbesondere wenn die Schlüsseldatei nicht verschlüsselt wurde.

[10] https://www.dropbox.com/

5 Eigene Lösung

Im folgenden Kapitel geben wir zuerst einen Überblick über die Theorie, wie zwei beliebige Geräte eine sichere Verbindung aufbauen können. Danach gehen wir konkret auf die Implementierung in Java ein.

5.1 Protokoll

Damit die übermittelten Daten symmetrisch verschlüsselt und authentifiziert werden können, müssen beide Geräte einen gemeinsamen privaten Schlüssel kennen. Dazu sollen zwei Arten unterstützt werden, eine sichere Verbindung aufzubauen, die je nach Hardwarespezifikation der Geräte gewählt werden. Besitzt ein Gerät eine Kamera und das andere Gerät ein Display, so kann das gemeinsame Geheimnis alleine dadurch übertragen werden, dass eines der beiden Geräte einen QR-Code anzeigt und dieser von dem anderen Gerät eingescannt wird. In dem QR-Code befindet sich ein geheimer Schlüssel, mit dem die Daten, die über das Netzwerk gesendet werden, verschlüsselt und authentifiziert werden. Zusätzlich befindet sich auch noch die IP-Adresse und der Port in dem QR-Code, sodass die Geräte ohne weitere Nutzerinteraktion einen sicheren Kanal aufbauen können. Dazu verbindet sich das Gerät, das den QR-Code gescannt hat, mit dem Server des anderen Geräts. Der Server überprüft danach, ob der Client die Nachrichten entschlüsseln kann, in dem der Server eine zufällige Zahl verschlüsselt und dem Client schickt. Der Client muss die Nachricht entschlüsseln, die Zahl um eins erhöhen, verschlüsseln und an den Server senden. Der Server überprüft danach, ob der Client die richtige Nachricht geschickt hat. Ist dies nicht der Fall, bricht der Server die Verbindung ab, andernfalls konnte eine sichere Verbindung aufgebaut werden.
Wenn keines der Geräte eine Kamera besitzt, aber bei beiden Geräten ein Display vorhanden ist, kann ein sicherer Schlüsselaustausch durchgeführt werden. Hierbei muss der Nutzer allerdings die IP-Adresse und den Port des anderen Geräts, zu dem er sich verbinden möchte, manuell eingeben. Diese Informationen zeigt ihm das andere Gerät an.
Um ein gemeinsames Geheimnis zu generieren, müssen die beiden Geräte einen Diffie-Hellman-Schlüsselaustausch [DH76] vollziehen. Dazu generien Alice und Bob jeweils mittels der Schlüsselerzeugungsfunktion ($Gen()$) einen öffentlichen und privaten Schlüssel. Danach tauschen sie ihre öffentlichen Schlüssel aus und berechnen ein gemeinsames Geheimnis. Dies stellt Abbildung 2 dar. Der Diffie-Hellman-Schlüsselaustausch ist nicht

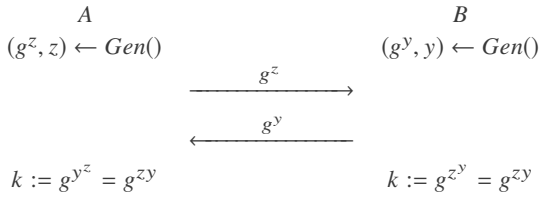


Abb. 2: DH-Schlüsselaustausch

gegen einen Mittelsmannangriff geschützt, bei dem der Angreifer jeweils Alice und Bobs öffentlichen Schlüssel abfängt und stattdessen seinen öffentlichen Schlüssel schickt. Deshalb verwenden wir Short-Authentication-Strings (SAS) [Va05], um sicherzustellen, dass kein solcher Angriff stattgefunden hat. Short-Authentication-Strings benutzt ein Commitment-Scheme. Ein Commitment beinhaltet eine Nachricht, die erst durch Bekanntgabe eines Decommitments lesbar wird. Das ermöglicht es Alice und Bob jeweils eine Nachricht zu senden, die sie erst zu einem späteren Zeitpunkt preisgeben, aber nicht verändern können. Unser gewähltes Commitment-Scheme [HM96] basiert auf kollisionsresistenten Hashfunktionen (H) und benutzt eine 2-universal Hashfunktion (h(x):= (Ax + B) mod p), um den Inhalt des Commitments erst später zu veröffentlichen.
Zusätzlich benutzen wir noch eine HMAC-Funktion (tag t := mac(x,m), wobei m die Nachricht und x ein geheimer Schlüssel ist). In Abbildung 3 ist unser Protokoll dargestellt,

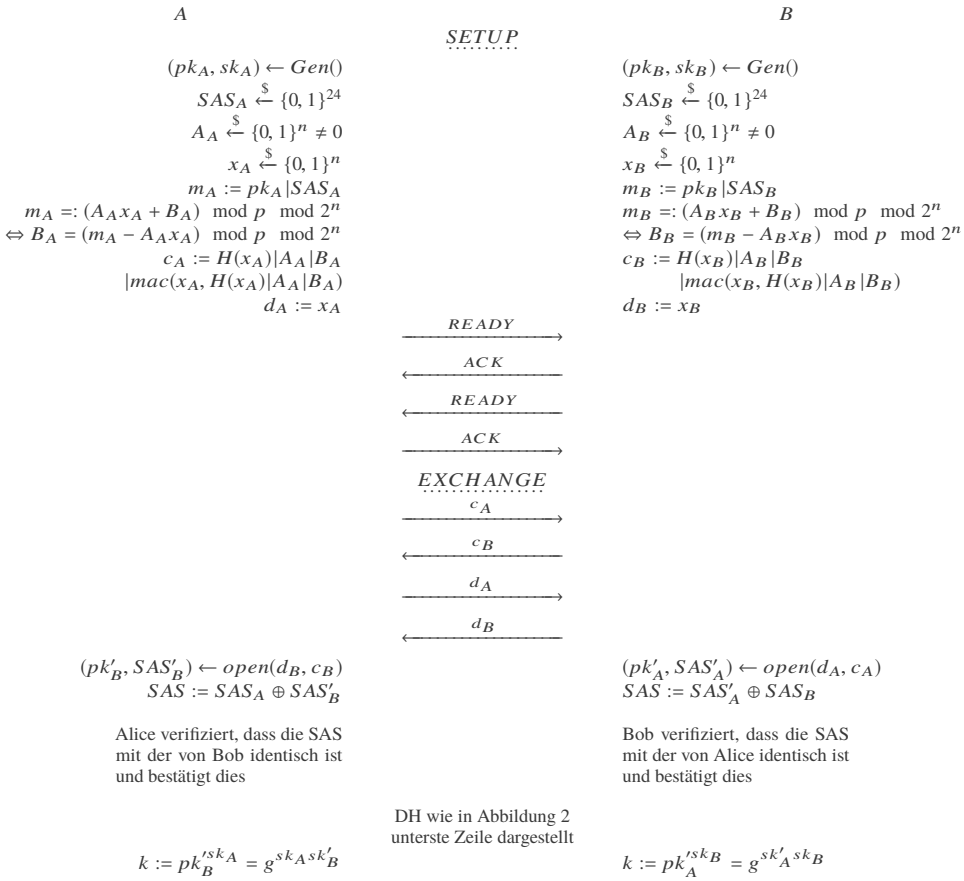


Abb. 3: Sicherer DH-Schlüsselaustausch

dabei ist m die Nachricht, c das Commitment und d das Decommitment. p ist eine Primzahl

mit $p \geq 2^n$, wobei n die Bitlänge der Nachricht (Bitlänge des öffentlichen Schlüssels plus 24 bit für die SAS) ist. Der Operator | konkateniert die Operanden miteinander.
Das vorherige $READY$, ACK dient nur dazu, dem anderen Gerät zu signalisieren, dass das Commitment erstellt wurde, da das Protokoll beim EXCHANGE einen harten Timeout von 5 Sekunden hat, während der Timeout beim SETUP bei 5 Minuten liegt.
Nachdem Alice bzw. Bob das Decommitment des anderen erhalten hat, wird zuerst überprüft, ob der Tag der vorherigen Nachricht korrekt ist. Ist dies nicht der Fall, wird der Schlüsselaustausch sofort abgebrochen. Andernfalls, wird das Commitment geöffnet, um die Nachricht zu erhalten.
Die resultierenden 24 Bit werden in sechs 4-Bit Blöcke aufgeteilt, die einen englischen Satz bilden. Jeder Block stellt einen Index in einem Array (Indizes 0-15) dar, der zu einem anderen englischen Wort aufgelöst wird. Jeder Block wird aus einer anderen Kategorie von Wörtern gezogen. Der Satz „Max owns nine heavy red books“ ergibt sich aus den 24 bit, indem die ersten 4 bit den Namen, die nächsten 4 bit das Verb, usw. bestimmen. Insgesamt gibt es $2^{4^6} = 16^6$ mögliche englische Sätze. Die englischen Wörter, die den Satz bilden, sind so gewählt, dass keine ähnlichen Sätze entstehen. Nachdem der Satz auf beiden Geräten angezeigt wird, muss der Nutzer auf beiden Geräten bestätigen, dass sie den selben Satz anzeigen.
Sind die Sätze nicht identisch, so gab es einen Mittelsmannangriff. Sind die Sätze identisch, war der Schlüsselaustausch erfolgreich und k ist der private Schlüssel, der den sicheren Kanal zwischen den Geräten ermöglicht.

5.2 SecureDataSocket

Um einen sicheren Kanal zwischen zwei Geräten aufzubauen, haben wir die Java-Bibliothek SecureDataSocket[11] entwickelt. Diese ist plattformübergreifend und lässt sich damit gut in bestehende Lösungen integrieren. Dabei soll SecureDataSocket die normalen Operationen (read/write), die auf einem Netzwerksocket möglich sind, zur Verfügung stellen und sicherstellen, dass alle Daten nur verschlüsselt und authentifiziert über das Netzwerk geschickt werden. Die Verwendung ist vorrangig für das lokale Netzwerk gedacht, da die Kommunikation direkt zwischen beiden am Austausch beteiligten Geräten passiert. SecureDataSocket implementiert die im vorherigen Abschnitt beschrieben Protokolle, um einen sicheren Kanal zwischen den Geräten aufzubauen.

5.3 OpenKeychain

Zur Übertragung von Schlüsseln in der Android-App OpenKeychain wurde die beschriebene Bibliothek SecureDataSocket verwendet. Dabei sollte der Schlüsselaustausch sowohl zwischen zwei Android-Geräten als auch zwischen einem Android-Gerät und einem

[11] https://github.com/MrJabo/SecureDataSocket/

Computer möglich sein. Die Übertragung mit einem Computer erfolgt mit Hilfe von Keylivery. Beide Geräte müssen sich dafür im gleichen lokalen Netzwerk befinden. Zum Verbindungsaufbau zur Übertragung eines Schlüssels wird ein QR-Code verwendet.

5.4 Keylivery

Keylivery[12] ist eine Java-Desktop-Anwendung, die dem Nutzer hilft, seine Schlüssel von seinem Desktop-Rechner auf sein Smartphone zu importieren. Es bildet eine grafische Darstellung um gpg[13] und lässt den Nutzer seinen gpg-Schlüssel zum Exportieren auswählen. Dazu zeigt es nach der Auswahl einen QR-Code an, der Verbindungsdetails wie IP-Addresse, Port und ein Geheimnis enthält. Den QR-Code muss der Nutzer einscannen, um eine Verbindung zu Keylivery aufzubauen. Der Schlüssel wird durch die SecureDataSocket-Bibliothek verschlüsselt und authentifiziert übertragen.

5.5 Cognitive Walkthrough



Abb. 4: Importieren eines Schlüssels mit QR-Code zum Verbindungsaufbau in OpenKeychain

Zur Verwendung unserer Methode muss zunächst auf einem Desktop-Rechner Keylivery installiert und gestartet werden. Nun kann der Button zur Schlüsselauswahl angeklickt werden. Danach öffnet sich ein Dropdown-Menü, aus dem der zu exportierende Schlüssel ausgewählt wird. Daraufhin wird ein QR-Code angezeigt, der nun aus der OpenKeychain-App heraus gescannt werden muss. Hier ist kritisch anzumerken, dass dem Nutzer deutlicher gemacht werden muss, dass er nun OpenKeychain zu öffnen hat. Dies ließe sich beispielsweise durch mehr Hinweistexte verbessern.
Anschließend wächselt der Nutzer zu seinem Smartphone und öffnet OpenKeychain.

[12] https://github.com/svenklaus/keylivery
[13] https://www.gnupg.org/

Zum Importieren eines neuen Schlüssels kann man im Hauptmenü der App den Button „Import“ auswählen, wie im linken Bild von Abbildung 4 dargestellt. In dieser Ansicht gab es bereits vor unserer Implementierung die Möglichkeit, als Datei gespeicherte Schlüssel und Schlüssel aus der Zwischenablage zu importieren. Über den neu hinzugefügten Button in der Menüleiste, auf dem ein QR-Code abgebildet ist, kann der Schlüssel auch aus dem lokalen Netzwerk importiert werden (siehe zweites Bild von links). Wird dieser Button ausgewählt, öffnet sich eine Kameraansicht zum Scannen eines QR-Codes. Damit wird nun der von Keylivery präsentierte Code gescannt. Sobald der QR-Code eingelesen wurde, schließt sich die Kameraansicht und der importierte Schlüssel wird angezeigt (siehe rechtes Bild). Es wird sowohl der öffentliche als auch der private Schlüssel übertragen. In der Ansicht kann der Benutzer sich davon überzeugen, dass der richtige Schlüssel übertragen wurde und hat die Möglichkeit, diesen in OpenKeychain zu importieren oder den Vorgang abzubrechen.

6 Zusammenfassung und Diskussion

6.1 Vergleich von Verfahren

Betrachtet man die länger vorhandenen Verfahren, stellt man fest, dass sie alle am Export aus gpg scheitern können. Wird dabei ein unsicheres oder gar kein Passwort gewählt, ist es einem Angreifer möglich, den privaten Schlüssel zu erlangen. Das von uns implementierte Verfahren vermeidet hingegen Schritte, die kritisch für den Nutzer sein können. Das wird sowohl durch die vom Nutzer unabhängige Verschlüsselung erreicht, als auch durch direkte Kommunikation der beiden Endgeräte im lokalen Netzwerk, die weitere Parteien von der Kommunikation ausschließt.
Gleichzeitig ist das neue Verfahren deutlich besser nutzbar. In den vorher vorhandenen Verfahren sah sich der Nutzer mit dem Übertragen eines Passwortes konfrontiert, dass, um als sicher zu gelten, lang und möglichst zufällig gewählt sein sollte. Ebenso hatte er in einigen Fällen mit verwirrenden Dialogen zu tun. Stellt man dem das neue Verfahren gegenüber, ist dieses deutlich leichter zu nutzen. Der Nutzer muss auf Desktop-Seite einzig Keylivery aufrufen und einen Schlüssel auswählen. Auf der Smartphone-Seite muss er die Importfunktion in OpenKeychain aufrufen und den von Keylivery angezeigten QR-Code einscannen. Die Eingabe des Passworts entfällt.
Als Hemmnis für den Nutzer ist anzumerken, dass Keylivery auf dem Desktop-Rechner erst installiert werden muss. Dagegen lässt sich einwenden, dass Keylivery nur einen Prototypen darstellt. Unsere Hoffnung ist es, dass die Funktionalität von Keylivery direkt in bestehende Verschlüsselungsanwendungen eingebaut wird. Dadurch ließen sich unter diesen Programmen leicht Schlüssel austauschen, auch ohne Beteiligung von OpenKeychain.
Zum Zeitpunkt der Einreichung besteht für den Nutzer die Möglichkeit den falschen Scanvorgang zu wählen, da neben unserem ein weiterer zum Verifizieren von öffentlichen Schlüsseln existiert. Das beabsichtigen wir jedoch durch einen Scanvorgang, der für beide Anwendungsfälle genutzt werden kann, zu beheben.

Auch ließe sich als Kritik anführen, dass in einer Studie [KFR09] die Verwendung von QR-Codes im Verhältnis zu anderen Methoden des Device Pairings sehr schlecht abschnitt. Das wird allerdings von den Autoren der Studie auch mit einer unzureichenden Implementierung, die häufig zu Versagen führte, begründet. Allerdings führen sie auch an, dass ihre Probanden häufig irritiert von den QR-Codes waren und nicht wussten, warum sie diese scannen sollten. Da die Studie aus dem Jahr 2009 stammt und sich durch die steigende Verbreitung von Smartphones seitdem auch die Verwendung von QR-Codes gestiegen ist, sind wir der Meinung, dass heutige Nutzer besser mit ihnen umzugehen wissen.

6.2 Zukünftige Arbeit

In künftigen Arbeiten ist es notwendig, die Resultate, die hier durch den Cognitive Walkthrough ermittelt wurden, in einer Studie mit Probanden zu überprüfen. Hierbei ist es insbesondere wichtig, unsere Hypothese zum Umgang von Nutzern mit QR-Codes zu prüfen.
Zukünftig kann die Implementierung in anderen Anwendungen integriert werden, um auch hier die Nutzbarkeit zu verbessern. Dabei bieten sich auch Anwendungen an, die nicht mit E-Mail in Verbindung stehen. So ließen sich beispielsweise auch die privaten Schlüssel von Cryptomessengern mit dieser Methode leicht transferieren.
Eine Implementierung des Protokolls in Desktop-Anwendungen wie dem Enigmail-Plugin erhöht die Benutzbarkeit. Damit muss der Nutzer keine neue Anwendung installieren und kann leichter, evtl. ohne vorher in die OpenKeychain FAQ sehen zu müssen, seine Schlüssel exportieren.
Mit der SecureDataSocket-Bibliothek kann auch ein grundsätzlicher Dateitransfer umgesetzt werden. Dies kann das Sichern von Fotos auf dem Smartphone per Backup auf einem anderen Gerät leicht ermöglichen und sicher gestalten. Ebenso lassen sich damit Kontaktdaten sehr einfach austauschen.
In künftigen Anwendungsfällen lässt sich die Benutzbarkeit auch sehr einfach erhöhen, falls die beiden Geräte keinen QR-Code Scanner besitzen, indem sich die Geräte über die Broadcast-IP-Adresse automatisch finden und das ebenfalls im SecureDataSocket verwendete Commitmentscheme verwendet wird.
Abschließend sei erwähnt, dass die Entwickler von OpenKeychain unsere Idee mittels tls-psk implementiert haben.

Danksagung

Wir danken Oliver Wiese und Prof. Dr. Volker Roth für die Organisation des Softwareprojektes, sowie die wissenschaftliche Betreuung. Ebenfalls danken wir Sven Klaus.

Literaturverzeichnis

[DH76] Diffie, W.; Hellman, M.: New directions in cryptography. IEEE Transactions on Information Theory, 22(6):644–654, Nov 1976.

[Fa13] Farb, Michael; Lin, Yue-Hsun; Kim, Tiffany Hyun-Jin; McCune, Jonathan M.; Perrig, Adrian: Safeslinger: Easy-To-Use And Secure Public-Key Exchange. In: MOBICOM. 2013.

[GM05] Garfinkel, Simson L.; Miller, Robert C.: Johnny 2: A User Test of Key Continuity Management with S/MIME and Outlook Express. In: Proceedings of the 2005 Symposium on Usable Privacy and Security. SOUPS '05, ACM, New York, NY, USA, S. 13–24, 2005.

[HM96] Halevi, Shai; Micali, Silvio: Practical and Provably-Secure Commitment Schemes from Collision-Free Hashing. In (Koblitz, Neal, Hrsg.): Advances in Cryptology — CRYPTO '96: 16th Annual International Cryptology Conference Santa Barbara, California, USA August 18–22, 1996 Proceedings. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, S. 201–215, 1996.

[KFR09] Kainda, Ronald; Flechais, Ivan; Roscoe, A. W.: Usability and security of out-of-band channels in secure device pairing protocols. In (Cranor, Lorrie Faith, Hrsg.): Proceedings of the 5th Symposium on Usable Privacy and Security, SOUPS 2009, Mountain View, California, USA, July 15-17, 2009. ACM International Conference Proceeding Series. ACM, 2009.

[NR10] Nguyen, Long Hoang; Roscoe, A. W.: Authentication Protocols Based on Low-Bandwidth Unspoofable Channels: A comparative survey. Journal of Computer Security, 19:139–201, 2010.

[Po92] Polson, Peter G; Lewis, Clayton; Rieman, John; Wharton, Cathleen: Cognitive walkthroughs: a method for theory-based evaluation of user interfaces. International Journal of man-machine studies, 36(5):741–773, 1992.

[Ru15] Ruoti, S.; Andersen, J.; Zappala, D.; Seamons, K.: Why Johnny Still, Still Can't Encrypt: Evaluating the Usability of a Modern PGP Client. ArXiv e-prints, Oktober 2015.

[Ru16] Ruoti, Scott; Andersen, Jeff; Hendershot, Travis; Zappala, Daniel; Seamons, Kent: Private Webmail 2.0: Simple and Easy-to-Use Secure Email. In: Proceedings of the 29th Annual Symposium on User Interface Software and Technology. UIST '16, ACM, New York, NY, USA, S. 461–472, 2016.

[Ur15] Ur, Blase; Noma, Fumiko; Bees, Jonathan; Segreti, Sean M; Shay, Richard; Bauer, Lujo; Christin, Nicolas; Cranor, Lorrie Faith: i added '!'at the end to make it secure": Observing password creation in the lab. In: Proc. SOUPS. 2015.

[Va05] Vaudenay, Serge: Secure Communications over Insecure Channels Based on Short Authenticated Strings. In: Proceedings of the 25th Annual International Conference on Advances in Cryptology. CRYPTO'05, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, S. 309–326, 2005.

[WT99] Whitten, Alma; Tygar, J. D.: Why Johnny Can't Encrypt: A Usability Evaluation of PGP 5.0. In: Proceedings of the 8th Conference on USENIX Security Symposium - Volume 8. SSYM'99, USENIX Association, Berkeley, CA, USA, S. 14–14, 1999.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 2437

Real or Fake? Large-Scale Validation of Identity Leaks

Fabian Maschler, Fabio Niephaus and Julian Risch[1]

Abstract: On the Internet, criminal hackers frequently leak identity data on a massive scale. Subsequent criminal activities, such as identity theft and misuse, put Internet users at risk. Leak checker services enable users to check whether their personal data has been made public. However, automatic crawling and identification of leak data is error-prone for different reasons. Based on a dataset of more than 180 million leaked identity records, we propose a software system that identifies and validates identity leaks to improve leak checker services. Furthermore, we present a proficient assessment of leak data quality and typical characteristics that distinguish valid and invalid leaks.

Keywords: Data quality, Data profiling, Leak validation, Identity leaks

1 Identity Leaks

Large databases of Internet services are targets of hacking attacks. Often, such stolen data is traded in the Dark Web or made public to achieve fame. Subsequent to data breaches, criminals can use personal data, such as email addresses and credit card information, or usernames and passwords for identity theft and other crimes. In response to identity leaks and their threat to users, there are leak checker services, such as the HPI Identity Leak Checker (ILC)[2] or HIBP[3]. With the help of these services, users can easily find out whether their identity data is contained in any published leaks. To provide such a service, leak checkers search and import leak data from the Internet automatically and continuously. Often, they go for quantity and collect leak data unrevised, to quickly enlarge their dataset.

This fully automatic approach comes at a cost: Leak checker databases often contain a lot of false positives, which are invalid entries with no corresponding real identity. Moreover, sometimes hackers pretend to have successfully hacked a service and then spread fake data to harm the reputation of a certain service or to gain attention. If there are no validity checks, also fake leaks end up in leak checker databases. However, leak checkers need clean databases to provide reliable results to their users. To improve the quality of those leak databases and reduce the number of false positives, it is necessary to validate all entries.

[1] University of Potsdam, Hasso-Plattner-Institute, Prof.-Dr.-Helmert-Str. 2-3, 14482 Potsdam, Germany, {fabian.maschler, fabio.niephaus, julian.risch}@student.hpi.uni-potsdam.de

[2] https://sec.hpi.de/leak-checker/

[3] https://haveibeenpwned.com/

doi:10.18420/in2017_248

We present a software system that automatically validates entire leak files with millions of entries, as well as single identity records. We cross-validate our approach on 900 manually labeled leak files and achieve an F_1-Measure of 85 %. Experiments on a database with more than 180 million leaked identities detect 10 % of the identities as invalid.

2 Related Work

Jäger et al. propose a leak checker service and explain its functionality [Ja15]. They describe a manual process of collecting leak data from hacker forums, the Dark Web, and file hosting providers or BitTorrent. A basic analysis of password distributions is conducted, which has been previously done by Wang et al. limited to Chinese passwords [Wa15]. Butler et al. focus on tracing a leak and identifying its surface point [BWP16]. The authors address large service providers, such as PayPal, and present concepts to automatically gather leaked data to inform and protect customers. Involving attacked service providers, Nixon summarizes several ideas on vetting leaks [Ni14]. According to that, password policies or measures for uniqueness and existence of usernames and email addresses are useful for the validation of leak data. Other ideas include checking the formatting of credit card numbers or analyzing the distribution of real names. Unfortunately, Nixons summary is missing an evaluation of the described ideas with real data. With our work, we fill this gap with experiments on a real-world dataset and moreover extend the list of effective and efficient validity checks. Recently, our results have been incorporated into the ILC and build the basis for ongoing identity leak research of Jäger and Graupner et al. [Gr16, Ja16].

3 Leak Validation

Our software system decomposes identity leak validation into two subtasks: (i) Validation of a leak file in its entirety based on features of the full dataset and (ii) Validation of a single identity and its username, email address, etc. in detail. Table 1 lists all proposed validation methods.

Tab. 1: Validators for (i) leak files and (ii) single identities.

Validator	Description
(i)	
MLBasedValidator	Validation based on supervised machine learning
LeakDistributionValidator	Analysis of character n-gram distribution
(ii)	
ExistenceValidator	Filter records with empty fields
GenericValidator	Filter special characters with regular expressions on usernames
EmailValidator	Filter general email format (Apache)
EmailSpecificationValidator	Filter provider-specific email regular expressions
MXRecordValidator	Filter domains without MX Record
SMTPValidator	Filter unknown email addresses at SMTP server

3.1 Validation of Entire Leak Files

To identify valid identity leak files, we propose a machine learning approach (MLBasedValidator) based on several features of the entire leak file.

Quantitative Features. The feature set includes, but is not limited to:

- text length of the entire leak
- average line length
- the number of occurrences of special characters or words such as
  - '@' to estimate the number of email addresses
  - '*CREATE TABLE*' or '*PRIMARY KEY*' to identify SQL statements
  - '*qwert*', '*123456*' or '*password*' to represent common passwords

Furthermore, we propose regular expressions to identify HTML tags, email addresses, and common password hashes. Regarding common password hashes, we focus on *sha1*, *sha256*, *sha512* and *md5*. Although leaked password hashes can be a security risk, not every leaked password hash can be cracked and misused. However, even salted password hashes can be guessed if the corresponding password hints are known, as seen in the Adobe leak [Kr13]. Passwords that do not occur in any dictionary are also subject to this risk. In our work, we use hashes as a feature for leak validation, rather than analyzing password strength and security risk of leaked hashes.

Qualitative Features. Typical leak files follow a tabular structure. To measure how similar a leak file is to a CSV-file like tabular structure, we propose a similarity measure for consecutive lines. Two lines are similar if both lines contain at least one common delimiter symbol, such as '*:*', '*\t*', or '*;*'. Further, the frequency of at least one of these symbols must be the same for consecutive lines.

In computational literature analysis, the task of authorship attribution is to attribute the authorship of a text to the correct author, out of a set of candidates. We propose to transfer features that represent the writing style of an author to features for the different characteristics of valid and invalid leak data. A prevalent feature for authorship attribution are character n-grams, which are tuples of n consecutive characters. Houvardas et al. extract character n-grams and map their frequencies in a histogram for authorship attribution [HS06]. We transfer this technique to leak analysis and define only two classes of leaks: each leak file is either valid or invalid. We choose the Adobe leak as a reference/ground truth dataset for valid leak files, since it is an international leak file with a huge number of identities and thus suits best for general conclusions. Considering the local part of all email addresses, we analyze single character, 2-gram, and 3-gram distributions. As a result, we extract three histograms that represent the relative frequency of each n-gram in email address local parts of the Adobe leak.

To validate a leak file, we count character n-grams in this leak and compare their relative frequencies to our reference frequency distribution. If the difference of the relative frequency is higher than a parameter *epsilon*, this n-gram deviates. A higher *epsilon* allows more variation of n-grams. A second parameter *coverage* specifies, how many n-grams can deviate at most for a leak to be considered valid. We count only those n-grams, which appear in the expected **and** the observed distributions. For higher percentages of *coverage*, less leaks are classified valid, since they have to be more similar to the reference leak.

If the n-gram distribution of a leak is classified invalid, it is too different from the reference and we invalidate all identities of that leak. Because n-gram distributions are not reliable for small leak files and they might differ from the reference distribution even for valid leak files, we skip this check for small leak files.

With this *LeakDistributionValidator*, we can successfully detect randomly generated leak files in which the distribution of n-grams differs from the expected distribution. However, leaks of online services in a specific country differ from more general or international leaks. Thus, the leaks which are classified as invalid by this check should be manually inspected before all identities are invalidated. Furthermore, using multiple valid leaks to extract reference distributions would make the analysis more robust.

3.2 Validation of Single Leak Identities

A leak that is classified valid, can still contain a great amount of invalid identities. In this section, we propose methods to filter out single fake identities.

Generic Validations. When checking the validity of an identity, there are some general checks that can be performed. The easiest validation, implemented with the *Existence-Validator*, invalidates identities missing required information, such as username or email address. Furthermore, a username usually cannot contain special characters, such as control sequences or white space. The *GenericValidator* implements this specification with configurable regular expressions. In a similar fashion, email addresses are subject to a well-defined format, described in RFC5322 and extended by RFC6531 [Re08, YM12]. Our *EmailValidator* performs these general checks with regular expressions and an email address validator provided by Apache Commons[4]. Depending on the dataset available, other generic checks, such as credit card validation, can be performed in a similar way.

Provider-Specific Email Address Validation. Hackers often try to attack services that are used by millions of users. The biggest data breaches usually contain many email addresses from different email providers. However, the majority of email addresses is from popular email providers, such as Gmail, Yahoo or Outlook. These providers allow only certain characters to be in the local part of email addresses. For example, Gmail allows only letters (a-z), numbers (0-9), and a period (.) to be in the local part. The length of such local parts is limited between 6 and 30 characters and they must start and end with a letter or a number. Gmail uses @gmail.com and @googlemail.com in some countries and allows users to define address aliases, which contain a plus (+). All this information can be used to validate a given Gmail address. For this purpose, we compiled specifications in the form of regular expressions for 29 popular email providers. For example, the Gmail specification is the following:

```
^[a-z0-9]([a-z0-9.+]){4,28}[a-z0-9]@g(oogle)?mail\.com$
```

The *EmailSpecificationValidator* checks, if the domain of an email address matches any of the specified regular expressions. In this case, the address also has to match the specified regular expression for the local part. Otherwise, the identity is declared invalid and needs no further checking.

MX Record Validations. Checking email address specifications is already effective to reveal invalid entries. A more advanced technique is to check an email's domain for MX

[4] https://commons.apache.org/proper/commons-validator/apidocs/org/apache/commons/validator/routines/EmailValidator.html

records. An MX record is a DNS entry and specifies the mail servers that handle incoming emails for a given domain. If no MX record is present, there is no way an email can be sent to this domain. Thus, the email address is invalid. This is the case, if a domain has been deleted or if an email address has been generated randomly.

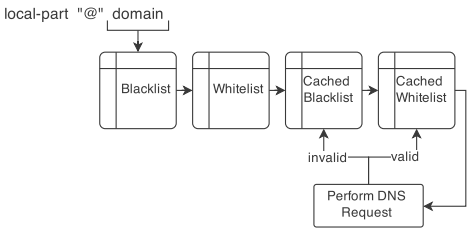


Fig. 1: MX Record Check Process

The *MXRecordValidator* verifies the existence of a valid MX record for a given email address domain. Performing DNS requests is comparatively costly in terms of time. Analyzing large datasets would result tremendous runtimes. To speed up validation, our implementation uses caching and multi-threading. Figure 1 visualizes the process of checking a domain. First, we check if a domain is present in a blacklist or whitelist. The blacklist contains domains of popular providers for disposable email addresses, whereas the whitelist contains domains of popular email providers such as Gmail or Yahoo. The *MXRecordValidator* then checks, if a domain is in a cached list. The cache is split into a cached blacklist and a cached whitelist. A DNS request is performed only if a domain is not contained in any of these lists. Thereby, each domain is checked only once and added to the cached blacklist or whitelist afterwards. This keeps the number of DNS requests as low as possible.

SMTP Validations. Although, the Simple Mail Transfer Protocol (SMTP) was first defined in 1982, it is still used to deliver emails today [Cr82]. RFC5321 specifies all commands that are required to send an email via SMTP [Kl08]. To find out, if an email account exists on the server, we pretend to send an email to that address, but before sending email data, we quit the process. As seen in Listing 1, the mail server replies with code 250 if a recipient is valid or with 554 if it is unknown. Therefore, this is used to check for the existence of an email address.

RFC5321 compliant mail servers allow 100 recipients [Kl08]. Hence, we can validate 100 email addresses per connection to an SMTP server. Email providers usually use more than one mail server for redundancy purposes. Thereby, more than one connection to each email provider can be established to further speed up the validation process. We have implemented this test and made it available through *SMTPValidator*. Unfortunately, performing this check is even a lot more time-consuming than an MX record check.

```
220 mail.domain.de ESMTP
HELO domain.de
250 mail.domain.de
MAIL FROM: <sender@domain.de>
250 2.1.0 Ok
RCPT TO: <valid@domain.de>
250 2.1.5 Ok
RCPT TO: <invalid@domain.de>
554 5.7.1 <invalid@domain.de>: Recipient address rejected: user unknown
QUIT
221 2.0.0 Bye
Connection closed by foreign host.
```

List. 1: SMTP communication example to validate the existence of an email address

4 Large-Scale Leak Validation

Hackers usually capture thousands of login and account details in data breaches. For this reason, databases for identity leak checkers are likely to contain millions of entries. To deal with this huge amount of data, we use the producer-consumer pattern and implement two different threads that communicate via a blocking queue. A producer thread fetches one entry after another from the database and adds it to the queue. A consumer thread does more complex operations, such as validating multiple regular expressions or performing SMTP checks. For this reason, our system uses a single producer thread and multiple consumer threads, as shown in Figure 2. This separation parallelizes the validation of a huge amount of identities and speeds up the process.

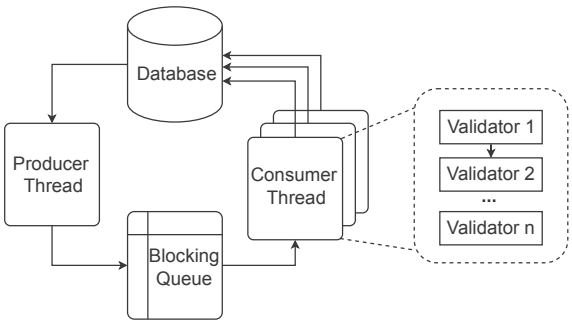


Fig. 2: Producer-consumer architecture for parallel validation of identities.

All identities are analyzed and validated in the consumer threads, each performing a list of validations. The order of validations should filter identities early to minimize processing time. For example a consumer thread could process generic validations, email specification check, MX record checks, SMTP checks, and character n-gram distribution analysis.

5 Evaluation

In this section, we evaluate our work on the analysis of leak data quality and identification of fake identities. Therefore, we evaluate our proposed methods on a sample of the ILC database. An overview of the dataset, for example the number of accounts, domains or common passwords, is available online[5].

The evaluation starts with evaluation leak files validation and continues with the analysis of single leak identities. Here, we distinguish between generated data, a sample of the ILC database and a full analysis with a subset of methods.

5.1 Leak File Validation

For the quantitative analysis described in Section 3.1, we use supervised machine learning with decision tree classifiers. Decision trees allow very time-efficient classification, which is important for our use case with many leak files to check. We evaluate our model with a 5-fold cross-validation on a balanced test set of 450 valid and 450 invalid identity leak files from May 2014. These files stem from leak posting websites, such as `www.leakedin.com` and have been manually labeled as valid or invalid. Valid identity leak files contain real identities including email addresses, passwords and usernames. Invalid identity leak files consist of fake identities or do not contain identities at all, such as log files, configuration files, HTML files, or link lists.

In our experiments, a random forest classifier with 30 trees, each constructed while considering 5 random features out of all 15 features, performs best. As a result, we achieve an F_1-Measure of 85 %, with identical results for precision and recall. While we found no other features or classifier models to improve this further, we were able to reduce the number of used features, still achieving a high F_1-Measure. A subset of only 3 features consisting of '@' signs, *md5* hashes, and the similarity of consecutive lines, achieves an F_1-Measure of 81 % using an alternating decision tree.

5.2 Identity Validation

For the evaluation of single identity validation, we consider a sample of the ILC database comprising several leak files, containing almost 1.5 million identities with email addresses and usernames. We discovered 725 909 identities with duplicate email address in the entire dataset (inter-leak). Analyzing each leak separately, there are overall only 26 644 identities with duplicate email addresses (intra-leak). We assume, the latter results from services that use usernames instead of email addresses for authentication or do not check for duplicate accounts. Comparing the large difference between intra- and inter-leak duplicates, we

[5] `https://sec.hpi.uni-potsdam.de/leak-checker/statistics`

assume that the database contains identical leaks, probably imported from different sources. Since such a non-fuzzy de-duplication can be easily achieved with appropriate database constraints, we do not further discuss this kind of invalid data.

Table 2 shows the results of our approach using all validators except the *SMTPValidator* for time-efficiency reasons. The *MXRecordValidator* uses 329 whitelisted domains and 778 blacklisted temporary email providers.

Tab. 2: Results on a sample of the ILC database with a runtime of 90.92 s. In total, 1 455 230 entries were checked, which represent 100 % in the table.

Description	Absolute Value	Relative Value %
LeakDistributionValidator	69 791	4.80
ExistenceValidator	828 363	56.92
GenericValidator	35 859	2.46
EmailValidator	23 719	1.63
EmailSpecificationValidator	54 303	3.73
MXRecordValidator	43 536	3.00
Blacklisted domain	9 945	0.68
Total fake data	237 153	16.30

Our software identifies 16.30 % of the dataset as invalid data. As it turns out, even the Adobe leak contains a fair amount of invalid entries and so do many other valid leaks. In fact, 56.92 % of all identities have been identified as incomplete by the *ExistenceValidator*, though this does not qualify them as invalid. Apparently, even large online services do not validate all user-related information and several leaks are incomplete.

Not all web services verify email addresses by sending an email, therefore a higher number of email addresses do not meet their provider's specifications. Quite a few email addresses have domains with no or an invalid MX record for probably the same reason. With the *MXRecordValidator* it takes only 91 s to process 1.5 million identities with all domains cached but 15 min with an empty cache. The cache reveals that 18 143 domains are blacklisted and 79 492 entries are whitelisted. This sums up to almost 98 000 distinct DNS requests, which equals just 6.71 % compared to the total number of identities. The user defined blacklisted domains from temporary email providers result in flagging 9 945 (0.68 %) identities as invalid.

Moreover, all identities from three leak files have been marked invalid, with the *LeakDistributionValidator*. Indeed, these leaks look suspicious, because most of the email addresses seem to be randomly generated while skimming over the leak. For example, we identify suspicious patterns of common firstname-lastname combinations. This result should still be handled carefully, since very specific leaks deviate from the expected distribution. For

example, leaks of Chinese messaging services and e-mail providers[6] use telephone numbers for registration. For this reason, there is a higher frequency of numbers in such leak files.

To evaluate the robustness of this method, we introduce a fake leak created with GenerateData[7]. Although, all usernames and email addresses are well-defined and do not appear suspicious at first sight, this leak is detected invalid. We tested different parameter configurations of the *LeakDistributionValidator* and find that for longer n-grams the parameters have to be much smaller to detect invalid leaks. Although the analysis takes more time with longer n-grams, the results are more robust and can be fine-tuned this way. We recommend to either manually double-check detected leaks or to use these results to downgrade the leak's relevance and then indicate to users that this leak might not be valid.

Finally, we run parts of our software on the full dataset of the ILC database. To allow a reasonable runtime on this huge dataset, we enable only a subset of validators. Table 3 shows the corresponding results.

Tab. 3: Number of flagged (invalid) entries per validator on the full ILC database with a runtime of 46 min. In total, 186 952 311 entries were checked, which represent 100 % in the table.

Description	Absolute Value	Relative Value %
GenericValidator	4 349 267	2.33
EmailValidator	3 242 407	1.73
EmailSpecificationValidator	3 852 816	2.06
Total fake data	11 444 490	6.12

Compared to results of the smaller sample, the relative frequencies are quite similar. However, the total number of invalid identities is proportionately larger, because the full dataset contains almost 187 million identities. The subset of validators identifies more than 11 million fake identities in about 46 min runtime. Extrapolating the results from the smaller sample to the entire ILC database, all proposed validators would identify approximately 10 % of the entries as invalid.

To conclude, we give some examples of detected invalid identities. Table 4 exemplarily shows a few usernames and email addresses that were flagged as invalid. We allow letters of any language, numbers, dash, period, underscore, and '@' in usernames, so these examples are evident. Some invalid email addresses look like mismatches, typing errors or even hacking attempts. In Table 5, there are email addresses with invalid email specifications. We have double-checked them manually and they indeed cannot be valid addresses according to the corresponding email providers. Furthermore, Table 5 lists a few examples for email addresses with invalid domains. In fact, these domains are either missing an MX record or do not exist at all.

[6] `http://www.qq.com/` and `http://www.163.com/`

[7] `http://generatedata.com/`

Tab. 4: Examples for invalid usernames and malformed email addresses.

Invalid usernames	Malformed email addresses (non RFC5322 compliant)
??Frank??	aqwa242@comcast,net
Ø¨Ø³Ø§Ù... Ù...Ù^Ø³Ù‰	anonymous3000
.::009::.	<body onload="document.write('hacked...
winner 12378	non g 1982
(vitimin-z)	taqwa65@yahoo.comr

Tab. 5: Examples for email addresses that violate providers' specifications or that have domains with no or only an invalid MX record.

Addresses violating provider's specification	Addresses domains with no or invalid MX records
mon.ino.(...)r.beto.ia@gmail.com	big@foo.bar
asdf@gmail.com	kashif@alrahmahsoft.com
lad@yahoo.com	tra1@ac.com
c@msn.com	asjklddfasjkl@dfassfddfas.com
star.zhang@163.com	sd@ut.yu

6 Conclusions and Future Work

In this work, we study the problem of identity leak validation and propose a general approach to validate entire leak files, as well as single leak identities. Based on supervised machine learning, we classify leak files as valid or invalid and on a more detailed level, we analyze how usernames and email addresses differ in real and fake leaks. We present a time-efficient implementation for validating email addresses based on MX records and analyze character n-gram distributions to identify generated leaks. Experiment results demonstrate that our approach is suited for real-world leak checker databases with more than 180 million leaked identities. We reveal approximately 10 % of the data in the examined ILC database as fake identities or mismatched information.

Interesting future work includes the analysis of other attributes of leaked identities, such as password hashes. Checking individual passwords for password policy compliance or the frequency distribution of simple and hard passwords could be next steps. However, password policies might change over time and the frequency distribution of passwords can be service-dependent. In the Adobe leak, for example, many passwords include the word '*adobe*'. The analysis of frequency distributions is also interesting for other information that is not devised by users, such as real names, email addresses containing real names, or birthdates. For example, the frequency distribution of births is far from uniform, with the highest peak nine months after Christmas.

Acknowledgment

This work has its origins in the Master's seminar *Dark Web Monitoring and Analysis of Leak Data* at the Hasso Plattner Institute at the University of Potsdam. We would like to thank our seminar supervisors David Jäger and Hendrik Graupner for numerous discussions on this topic.

References

[BWP16] Butler, Blake; Wardman, Brad; Pratt, Nate: REAPER: an automated, scalable solution for mass credential harvesting and OSINT. In: APWG Symposium on Electronic Crime Research (eCrime). IEEE, pp. 1–10, 2016.

[Cr82] Standard for the format of ARPA Internet text messages, RFC 822 (Internet Standard). http://www.ietf.org/rfc/rfc822.txt, Obsoleted by RFC 2822, updated by RFCs 1123, 2156, 1327, 1138, 1148.

[Gr16] Graupner, Hendrik; Jaeger, David; Cheng, Feng; Meinel, Christoph: Automated Parsing and Interpretation of Identity Leaks. In: Proceedings of the ACM International Conference on Computing Frontiers. CF '16, ACM, New York, NY, USA, pp. 127–134, 2016.

[HS06] Houvardas, John; Stamatatos, Efstathios: N-gram feature selection for authorship identification. In: International Conference on Artificial Intelligence: Methodology, Systems, and Applications. Springer, pp. 77–86, 2006.

[Ja15] Jaeger, David; Graupner, Hendrik; Sapegin, Andrey; Cheng, Feng; Meinel, Christoph: Gathering and Analyzing Identity Leaks for Security Awareness. In: International Conference on Passwords. Springer, pp. 102–115, 2015.

[Ja16] Jaeger, David; Graupner, Hendrik; Pelchen, Chris; Cheng, Feng; Meinel, Christoph: Fast Automated Processing and Evaluation of Identity Leaks. International Journal of Parallel Programming, pp. 1–30, 2016.

[Kl08] Simple Mail Transfer Protocol, RFC 5321 (Draft Standard). http://www.ietf.org/rfc/rfc5321.txt.

[Kr13] Adobe Breach Impacted At Least 38 Million Users. http://krebsonsecurity.com/2013/10/adobe-breach-impacted-at-least-38-million-users/, Last accessed on 2017-04-28.

[Ni14] Vetting Leaks: Finding the Truth when the Adversary Lies. http://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/au/Documents/risk/deloitte-au-risk-vetting-leaks-081214.pdf, Last accessed on 2017-04-28.

[Re08] Internet Message Format, RFC 5322 (Draft Standard). http://www.ietf.org/rfc/rfc5322.txt, Updated by RFC 6854.

[Wa15] Wang, Ding; Cheng, Haibo; Gu, Qianchen; Wang, Ping: Understanding passwords of Chinese users: Characteristics, security and implications. CACR Report, Presented at ChinaCrypt, 2015.

[YM12] SMTP Extension for Internationalized Email, RFC 6531 (Proposed Standard). http://www.ietf.org/rfc/rfc6531.txt.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 2449

Authentifizierte Zeitsynchronisation

Analyse und Evaluation des ANTP-Protokolls

Andreas Dorn[1] und Cedric Schweizer[1]

Abstract: Das Themengebiet der sicheren Zeitsynchronisation gewinnt immer mehr an Bedeutung. Viele sicherheitskritische Komponenten, Geräte oder Protokolle sind auf eine möglichst genau synchronisierte Systemzeit angewiesen. Dabei wird die Synchronisation mit einem Zeitserver meist ungesichert durchgeführt, so dass ein großer Angriffsvektor vorhanden ist. In der vorliegenden Arbeit erfolgt eine Erläuterung zu den Grundlagen der Zeitsynchronisierung, möglicher Angriffsvektoren sowie kryptografischer Absicherungsmaßnahmen. Dabei orientiert sie sich an den Ergebnissen von Dowling et al. [„Authenticated Network Time Synchronization“, in 25th USENIX Security Symposium, DSZ16, 2016], in denen ein sicheres Verfahren zur Zeitsynchronisation vorgestellt wird. Es wird eine Analyse und kritische Betrachtung des ANTP-Protokolls durchgeführt, wobei auch eigene Entwicklungen und Implementierungen zum Einsatz kommen. Abschließend kann die Relevanz der untersuchten Arbeit und die des ANTP-Protokolls, das viele Probleme der Zeitsynchronisierung löst, bestätigt werden.

Keywords: Authentifizierte Zeitsynchronisation, ANTP, NTP, SNTP, Kryptografie

1 Einleitung

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit Verfahren zur sicheren Zeitsynchronisation. Dabei wird die Arbeit von Dowling et al. [DSZ16] als Basis herangezogen. Diese wurde auf der 25. Usenix-Konferenz im Jahr 2016 präsentiert und beschreibt die Gefahren unsicherer Zeitsynchronisation. Gleichzeitig wird darin eine effiziente Lösung in Form des kryptografisch abgesicherten ANTP-Protokolls präsentiert. In der vorliegenden Arbeit erfolgt eine Untersuchung des ANTP-Protokolls. Dabei werden kryptografische Operationen reimplementiert und mit einem eigens entwickelten, auf asymmetrischer Verschlüsselung basierenden, Verfahren verglichen.

Die Struktur der vorliegenden Arbeit folgt dem zugrundeliegenden thematischen Verlauf. Zunächst werden Schwachstellen ungeschützter Synchronisierungsstandards und wie diese durch Angreifer ausgenutzt werden können dargelegt. Die nächsten Kapitel analysieren und validieren das ANTP-Protokoll auf unterschiedlichen Ebenen. Daraufhin folgt die Entwicklung einer eigenen Alternative. Diese wird zusammen mit dem ANTP-Ansatz rudimentär implementiert und die Implementierungen werden miteinander verglichen. Nach der kritischen Betrachtung des ANTP-Protokolls folgt ein abschließendes Fazit.

[1] Hochschule Furtwangen, Robert-Gerwig-Platz 1, 78120 Furtwangen, vorname.nachname@hs-furtwangen.de

doi:10.18420/in2017_249

2 Sicherheitskritische Schwachstellen von NTP

Viele Sicherheitsverfahren beruhen auf einer ausreichend genauen Kenntnis der Zeit. So ist die Lebenszeit von TLS-Zertifikaten begrenzt. Gelingt es einem Angreifer die lokale Zeit des Opfers zu beeinflussen, so könnten dennoch bereits abgelaufene oder zurückgerufene Zertifikate akzeptiert werden. Weitere mögliche Angriffsziele sind DNSSEC, DNS-Server, Kerberos und HSTS [Ma16].

Da in der Grundversion von NTP keine Authentifizierung von Nachrichten erfolgt, kann ein Angreifer als Man-in-the-Middle die lokale Zeit eines Clients beeinflussen, indem er die Antwort des Zeitservers abfängt und eine eigene Antwort mit geänderten Zeitstempeln zurücksendet.

Bestimmte Funktionalitäten des NTP-Protokolls begünstigen auch die Ausführung eines DoS-Angriffs, durch den der Client keine weitere Synchronisierung vornehmen kann. Sendet ein Client in kurzer Zeit zahlreiche Anfragen an einen Server, so hat dieser die Möglichkeit, durch eine sogenannte Kiss-of-Death-Nachricht dem Client weitere Verbindungsversuche für einige Stunden zu verbieten. Dabei muss der Zeitstempel eines Kiss-of-Death-Pakets mit einer Anfrage des Clients übereinstimmen. Allerdings kann dieser Mechanismus auch umgangen werden, indem der Server vom Angreifer durch mehrere Anfragen dazu gebracht wird, bei der nächsten legitimen Anfrage des Clients diesem die Kiss-of-Death-Nachricht zu schicken (CVE-2015-7705).

NTP-Server sind in letzter Zeit auch für die Durchführung von DDoS-Attacken verwendet worden [Gr14]. Dabei wird ausgenutzt, dass viele Server so konfiguriert sind, dass sie eine monlist-Anfrage auch von externen IP-Adressen beantworten. Als Antwort liefert ein Server seine letzten 600 Verbindungen. Interessant für DDoS-Angriffe ist hierbei, dass die Anfrage lediglich eine Größe von 234 Byte aufweist, während die ausgelöste Antwort bis zu 48 Kilobyte groß ist. Damit bietet dieser Angriff einen Verstärkungsfaktor von bis zu 200.

Die genannten Man-in-the-Middle-Angriffe, die die Zeit des Clients direkt beeinflussen, können durch die Verwendung von kryptografischen Verfahren und somit einer Authentifizierung der Nachrichten verhindert werden. Bereits 1992 wurde mit NTPv3 diese Möglichkeit geschaffen [Mi92]. Durch ein symmetrisches Verschlüsselungsverfahren können Nachrichten authentifiziert werden. Leider wurde in dieser Version kein Prozedere für den Schlüsselaustausch spezifiziert. Dieser erfolgt beispielsweise beim amerikanischen NIST durch den postalischen Versand an alle registrierten Kunden.

Mit NTPv4 wurde 2010, basierend auf dem Autokey-Protokoll, eine Authentifizierung in NTP implementiert, die auch Verfahren für den Schlüsselaustausch spezifiziert [Mi10]. Das Protokoll erfährt jedoch eine geringe Verbreitung und Nutzung. Nach Röttgers [Rö12] ist die Authentifizierung außerdem nicht ausreichend gegen Angriffe geschützt. Dieser Umstand führte maßgeblich zur Entwicklung des ANTP-Protokolls [DSZ16], das das Ziel einer sicheren Zeitsynchronisation mit Authentifizierung verfolgt.

3 Authentifizierte Zeitsynchronisation durch ANTP

Aufgrund der bereits in Kapitel 2 erläuterten sicherheitskritischen Schwachstellen klassischer Zeitsynchronisation, die ohne Authentifizierung des Zeitservers oder der Synchronisierungsdaten arbeitet, haben die Autoren B. Dowling, D. Stebila und G. Zaverucha eine sichere Alternative namens ANTP entwickelt. Im Ergebnis existiert die detaillierte Beschreibung eines technischen Kommunikationsprotokolls zur authentifizierten Zeitsynchronisation, das auf dem NTP-Protokoll aufbaut [DSZ16]. Ziel ihrer Arbeit war nicht nur die Entwicklung einer sicheren Alternative, die gegen Desynchronisierungsattacken immun ist, gleichzeitig sollten hohe Skalierungsfähigkeiten und eine niedrige Belastung des Zeitservers erreicht werden. Der Ansatz wurde von den Autoren testweise mithilfe der quelloffenen Kryptografie-Bibliothek OpenSSL und der quelloffenen Zeitsynchronisierungs-Bibliothek OpenNTP implementiert und mithilfe einer, eigens für diesen Zweck entwickelten, Testumgebung geprüft. Im Nachfolgenden erfolgt die Analyse und Präsentation der abstrahierten Phasen des ANTP-Protokolls. Nachdem der grundlegende Ablauf und besondere Implementierungsdetails erörtert wurden, folgt eine Übersicht über erhoffte Funktionalitäten und Vorteile des Ansatzes.

3.1 Grundlegende Funktionsweise

Das ANTP-Protokoll baut auf unterschiedlichen, bereits etablierten Verfahren auf. Ähnlich wie bei SSL werden hybride kryptografische Operationen eingesetzt. Konkret wird durch asymmetrische Kryptografie ein symmetrischer Sitzungsschlüssel ausgetauscht. Für die spätere Zeitsynchronisation wird nur noch symmetrische und kosteneffiziente Kryptografie eingesetzt. Trotz dieses Ansatzes kann der ANTP-Server, in Bezug auf Clientverbindungen, zustandslos arbeiten. Dies wird über das Auslagern der Zustände auf die einzelnen Clients ermöglicht. Diese müssen ihrer Zeitsynchronisierungsanfrage immer den aktuellen Zustand anhängen.

Das ANTP-Protokoll lässt sich in vier Phasen aufteilen, die nacheinander ablaufen. Jede Phase wird unterschiedlich oft und zu unterschiedlichen Anlässen ausgeführt. Zur Beschreibung der einzelnen Phasen finden immer ein ANTP-Zeitserver, der den ANTP-Dienst anbietet, und ein ANTP-Client, der die Zeitsynchronisierung in Anspruch nehmen möchte, Verwendung. Zum besseren Verständnis werden Vorgänge zum Teil abstrahiert oder vereinfacht dargestellt. Die nachfolgenden Erklärungen der einzelnen Phasen sollten zusammen mit Abbildung 1 betrachtet werden, da jeweils wechselseitig Bezug genommen wird.

Die erste Phase kann als Einrichtungsphase bezeichnet werden. Technisch genügt es, wenn diese Phase ein einziges Mal für jeden ANTP-Zeitserver und jeden ANTP-Client durchgeführt wird. In dieser Phase wird die Installation der entsprechenden Software auf dem Client und dem Server vorgenommen und es werden passende Zertifikate und Schlüssel erzeugt.

Die zweite Phase kann als Verhandlungsphase bezeichnet werden. Technisch genügt es, wenn sie einmalig für jede Client-Server-Kombination ausgeführt wird. In dieser Phase einigen sich Server und Client auf die zu verwendenden kryptografischen Algorithmen. Dabei muss ein Algorithmus für die asymmetrische und ein Algorithmus für die symmetrische Kryptografie gewählt werden.

Die dritte Phase kann als Schlüsselaustauschphase bezeichnet werden. Wie bei der vorherigen Phase genügt es prinzipiell, wenn sie einmalig für jede Client-Server-Kombination ausgeführt wird. Über eine asymmetrisch verschlüsselte Kommunikationsverbindung wird ein symmetrischer Schlüssel ausgetauscht. Der Server lagert diesen Schlüssel mithilfe eines verschlüsselten Zustandspaketes auf den Client aus. Dieser kann das Zustandspaket nicht entschlüsseln, benötigt es aber für spätere Anfragen an den Server. Aus Sicherheitsgründen sollte das Zustandspaket regelmäßig erneuert werden.

Die am häufigsten ausgeführte, vierte Phase des ANTP-Protokolls kann als Zeitsynchronisierungsphase bezeichnet werden. Im Gegensatz zu den bisherigen Phasen wird diese regelmäßig für jede Client-Server-Kombination ausgeführt. In dieser Phase findet nur noch symmetrische Kryptographie ihre Anwendung. Sie baut auf den anderen Phasen auf und kann nur mit gültigem Zustandspaket durchgeführt werden. Dieses wird mit jeder Anfrage des Clients mitgeschickt. Der Server entschlüsselt es mit seinem geheimen Langzeitschlüssel und kann daraufhin den Sitzungszustand wiederherstellen. In diesem ist der Sitzungsschlüssel enthalten, mit dem die Synchronisationsantwort durch einen Nachrichtenauthentifizierungscode geschützt wird.

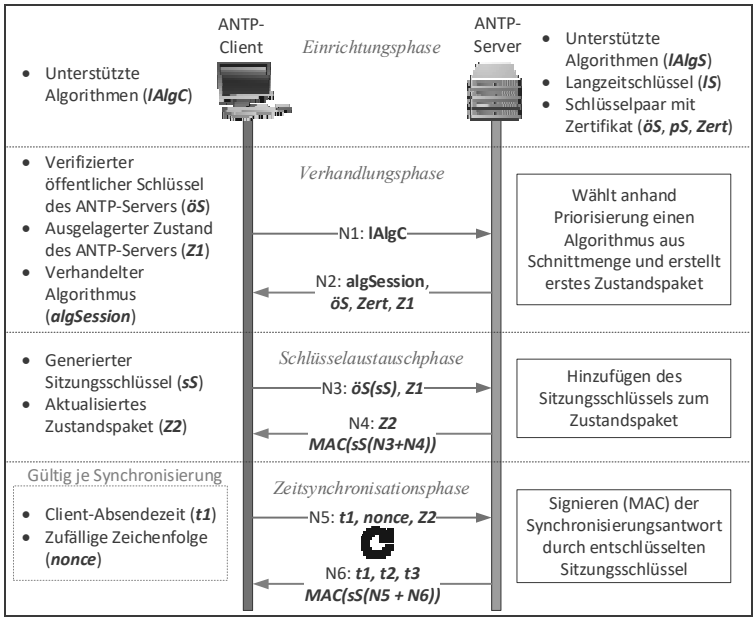


Abb. 1: Phasen des ANTP-Protokolls

3.2 Schlüsselfunktionalitäten des ANTP-Protokolls

Das ANTP-Protokoll bietet drei Schlüsselfunktionalitäten, die es in dieser Kombination von anderen Verfahren unterscheiden. Sie bilden sozusagen die Essenz des Protokolls.

Das ANTP-Protokoll bietet eine Authentifizierung des ANTP-Servers selbst und der Nachrichten zwischen ANTP-Server und ANTP-Client. Dadurch werden Desynchronisierungsattacken effektiv verhindert und die Sicherheit der Zeitsynchronisation ist gewährleistet.

Durch die hauptsächliche Nutzung symmetrischer Verschlüsselung wird eine sehr hohe Performanz erreicht und durch die gelegentliche Nutzung asymmetrischer Verschlüsselungsverfahren kann der, für den Austausch des symmetrischen Schlüssels notwendige, sichere Kommunikationskanal geschaffen werden.

Durch Pseudo-Zustandslosigkeit des ANTP-Servers ergibt sich ein vergleichsweise geringer Synchronisationsaufwand zwischen unterschiedlichen Knoten. Dies hat eine hervorragende Skalierbarkeit zur Folge, was die Umsetzung in modernen, cloudbasierten Infrastrukturen stark vereinfacht. Dazu kommt ein verringerter Speicherverbrauch, da nicht alle Zustände parallel gehalten werden müssen.

3.3 Performanz des ANTP-Protokolls

In diesem Unterkapitel erfolgt eine oberflächliche Analyse der Performanz des ANTP-Protokolls. Die dabei verwendeten Messergebnisse stammen aus der wissenschaftlichen Arbeit [DSZ16], die das ANTP-Protokoll präsentiert. Bei den nachfolgenden Daten handelt es sich nur um Auszüge der für die vorliegende Arbeit relevantesten Parameter. Es werden die einzelnen Phasen des ANTP-Protokolls miteinander und mit dem ungesicherten NTP-Ansatz verglichen. Zu einem anderen sicheren Zeitsynchronisierungsansatz erfolgt kein Vergleich.

Wie der nachfolgenden Tabelle 1 zu entnehmen ist, sind die Anfangsphasen, in denen asymmetrische Kryptografie zum Einsatz kommt, deutlich rechenintensiver als die finale Zeitsynchronisierungsphase. Der Durchsatz gibt die Anzahl an möglichen Phasenvorgängen pro Sekunde an, bevor der Server seine Auslastungsgrenze erreicht.

Protokoll und Phase	Durchsatz an Vorgängen pro Sekunde
ANTP Verhandlungsphase (RSA)	58.240
ANTP Schlüsselaustauschphase (RSA)	1.754
ANTP Zeitsynchronisierungsphase	175.644
NTP Zeitsynchronisierung	291.926

Tab. 1: Durchsätze im Vergleich [DSZ16]

Im Vergleich zu dem klassischen, ungesicherten NTP-Protokoll wird in der Zeitsynchronisierungsphase ein Durchsatz von 60 % erreicht. Dabei muss beachtet

werden, dass die Zeitsynchronisierung allein, ohne kryptografische Absicherung, sehr wenig Rechenaufwand für den Server verursacht. In Hinblick darauf ist das Ergebnis durchaus beachtlich.

4 Sicherheitsevaluation von ANTP

Ziel der Autoren war es, mit ANTP eine authentifizierte Version von NTP zu definieren, die es einem Angreifer unmöglich macht, die Uhrzeit eines Clientsystems unbemerkt zu manipulieren. Um die Sicherheit von ANTP zu beweisen, haben die Autoren auf zwei etablierte Frameworks für die Untersuchung der Sicherheit von Kommunikationskanälen zurückgegriffen [BR93], [Ja12]. Diese Modelle wurden um eine Zeitkomponente für jeden Teilnehmer im Netzwerk erweitert, um auch die Richtigkeit der Zeitsynchronisierung untersuchen zu können. Der für die Untersuchung betrachtete Angreifer hat dabei volle Kontrolle über die Kommunikation innerhalb des Netzwerks.

Das beabsichtigte Verhalten von ANTP wird dabei erreicht, wenn zwei Bedingungen erfüllt sind. Zunächst muss sichergestellt sein, dass ohne Interaktion des Angreifers der Zeitfehler nach einer erfolgreichen Synchronisierung eine bestimmte Grenze nicht überschreitet. Der Beweis dieser Bedingung ist trivial. Ohne einen Angreifer verhält sich ANTP exakt wie SNTP. Bei SNTP handelt es sich um eine vereinfachte Variante von NTP mit äquivalentem Nachrichtenformat. Der maximal mögliche Zeitfehler bei SNTP ist dabei durch die Hälfte der Gesamtlaufzeit von Anfrage und Antwort gegeben. Somit garantiert ANTP in einer Situation ohne Angreifer eine korrekte Zeitsynchronisierung.

Um eine authentifizierte Zeitsynchronisation zu erreichen, muss ANTP zusätzlich noch eine zweite Bedingung erfüllen. Auch bei Vorhandensein eines Angreifers muss stets gewährleistet sein, dass der Zeitfehler nach einer akzeptierten Synchronisierung unterhalb einer gewählten Grenze liegt. Ein Angreifer kann jedoch nur eine kompromittierte Synchronisierung bewirken, wenn er die Authentifizierung von ANTP bricht. Die Wahrscheinlichkeit für einen erfolgreichen Angriff auf ANTP wird also durch die Sicherheit der gewählten kryptographischen Verfahren festgelegt. Dabei konnten die Autoren von ANTP den Nachweis erbringen, dass die Wahrscheinlichkeit für einen erfolgreichen Angriff auf ANTP nach oben durch die Wahrscheinlichkeit eines erfolgreichen Angriffs auf den verwendeten MAC-Algorithmus begrenzt ist. Wenn also ein MAC-Algorithmus mit bewiesener Sicherheit verwendet wird, so ist auch die Sicherheit von ANTP gewährleistet.

5 Validierung des ANTP-Protokolls durch Praxisversuch

In diesem Kapitel erfolgt die Präsentation einer praktischen Untersuchung, in der das ANTP-Protokoll verglichen und überprüft wurde. Die Struktur orientiert sich dabei an den Zielen, der Methodik, der Entwicklung und den Ergebnissen des Praxisversuchs.

5.1 Ziele des Praxisversuchs

Da seitens der Autoren des Referenzpapiers [DSZ16] kein praktischer Performanzvergleich zu einem anderen, sicheren Zeitsynchronisierungsprotokoll erfolgte, ist dies eines der Ziele der vorliegenden Arbeit. Gleichzeitig wird untersucht, ob das ANTP-Protokoll anhand der vorhandenen Informationen umsetzbar und die prinzipielle Funktionalität des kryptografischen Ansatzes gegeben ist. Durch die ANTP-Reimplementierung kann eine Überprüfung der Performanzangaben aus dem Referenzpapier erfolgen. Ein weiteres Ziel ist die Entwicklung und Implementierung eines alternativen Protokolls auf Basis asymmetrischer Verschlüsslung, wovon eine verringerte Komplexität erhofft wird. Dadurch kann zusätzlich überprüft werden, ob die angesprochene Effizienzsteigerung durch den hybriden Ansatz tatsächlich eintritt.

5.2 Methodik des Praxisversuchs

Um die zuvor genannten Ziele zu erreichen, sind verschiedene Arbeitsschritte notwendig. Damit der ANTP-Ansatz verglichen werden kann, wird eine ausführbare ANTP-Client- und ANTP-Server-Anwendung benötigt. Entgegen dem Referenzpapier ist zum Zeitpunkt der Erstellung der vorliegenden Arbeit kein Quellcode der ANTP-Musterimplementierung veröffentlicht. Dementsprechend ist der erste Schritt die Implementierung einer ANTP-Anwendung. Da im Nachfolgenden nur kryptografische Ansätze verglichen werden, reicht die Implementierung der kryptografischen Operationen ohne die vollständige Funktionalität als ANTP-Server und ANTP-Client aus.

Damit die Effizienz des hybriden Ansatzes gegenüber einem asymmetrischen Ansatz überprüft werden kann, wird zunächst ein asymmetrischer Ansatz zur sicheren Zeitsynchronisation benötigt. Dementsprechend muss solch ein Ansatz entwickelt und implementiert werden. Wie beim ANTP-Ansatz reicht hierbei die Implementierung der kryptografischen Operationen aus. Damit das alternative Protokoll und der ANTP-Ansatz vergleichbar sind, müssen beide mithilfe der gleichen Werkzeuge und Strukturen umgesetzt werden. Im letzten Schritt erfolgt die Analyse der einzelnen Ergebnisse in Bezug auf Ressourcenverbrauch, Effizienz und Komplexität.

5.3 Implementierung des ANTP-Protokolls

Da keinerlei Quellcode vorhanden ist, müssen keine Abhängigkeiten beachtet werden. Als Programmiersprache findet C++ Verwendung. Im Gegensatz zur ANTP-Referenzimplementierung wird nicht OpenSSL, sondern Crypto++ als kryptografische Bibliothek eingesetzt. Diese bietet gleichwertige Lizenzbedingungen, Standardisierungen und Freigaben, besitzt im Vergleich zu OpenSSL jedoch einen modernen, pipelinebasierten Programmierstil. Dies bringt vor allem Vorteile für Programmierer, die keine Experten auf dem Gebiet der Kryptografie sind, da Crypto++ fertige, den kryptografischen Standards entsprechende Strukturen bereithält.

Die konkrete Implementierung erfolgte anhand der Angaben des Referenzpapiers. Dabei gibt es sicherlich Abweichungen zu der unveröffentlichten Referenzimplementierung, die für die nachfolgenden Vergleiche jedoch nur von untergeordneter Bedeutung sind. Bei der Implementierung erfolgt eine Beschränkung auf die drei kryptografischen Operationen der häufig ausgeführten Zeitsynchronisierungsphase, da diese die spätere Hauptlast bilden.

5.4 Entwicklung und Implementierung eines alternativen Ansatzes

Da zu Vergleichszwecken kein passender Zeitsynchronisierungsstandard, basierend auf asymmetrischer Verschlüsselung, vorliegt, muss ein alternativer Ansatz entwickelt werden. Die Grundvoraussetzungen sind dabei der, auf Serverseite, zustandslose Betrieb sowie die Authentifizierung der Zeitdaten. Ohne diese Voraussetzungen wäre ein Vergleich mit dem ANTP-Protokoll nicht zielführend.

Der alternative Ansatz kann in Abbildung 2 genauer betrachtet werden. Nachfolgende Erklärungen sind kurz gehalten, da die Grundlagen dafür schon in den vorherigen Kapiteln erläutert wurden. Der Server besitzt initial ein Schlüsselpaar mit passendem Zertifikat. Der Client wiederum weiß, welchen Zertifikaten er vertraut.

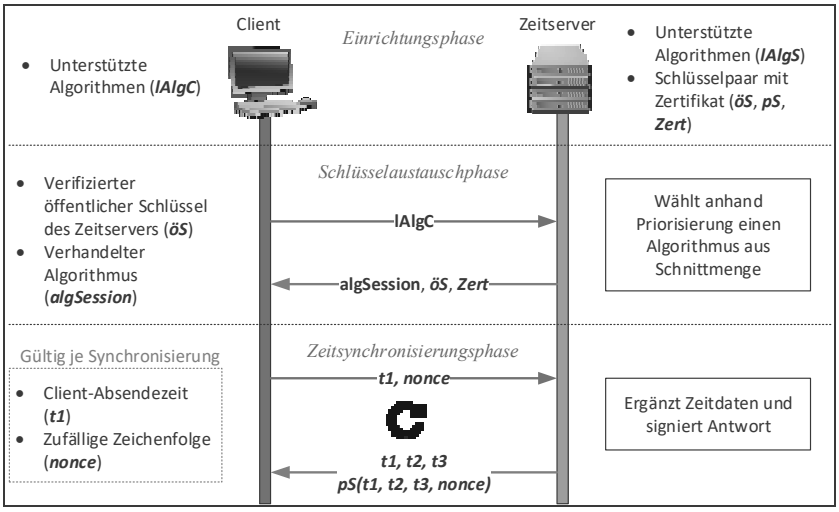


Abb. 2: Alternativer Ansatz

Der Prozess der alternativen, asymmetrisch gesicherten Zeitsynchronisation teilt sich in zwei Phasen auf. Die erste Phase wird nur unregelmäßig, einmalig für neue Client-Server-Kombinationen, ausgeführt. In dieser fragt der Client den Server initial an, der wiederum mit seinem öffentlichen Schlüssel und dem passenden Zertifikat antwortet. Der Client verifiziert die erhaltenen Angaben.

Daraufhin folgt die Zeitsynchronisationsphase, in der der Client eine dem SNTP-Standard folgende Anfrage an den Server sendet. Dieser antwortet dem SNTP-Standard entsprechend. Zusätzlich wird die Antwort signiert. Durch den zuvor erhaltenen öffentlichen Schlüssel des Servers kann der Client die Signatur auf Gültigkeit prüfen. Dabei prüft er auch, ob die Ausgangsdaten innerhalb des SNTP-Paketes modifiziert wurden. Zusätzliche Funktionalitäten wie die eindeutige Ziffernfolge zur Zuordnung der Anfrage und der Latenzfrei-Modus können dem ANTP-Protokoll entnommen werden.

Es wurden zwei kryptografische Operationen implementiert. Dabei handelt es sich um die Erstellung der Signatur auf Seite des Servers und um die Verifizierung der Signatur auf Seite des Clients. Die konkret verwendeten Standards können der nachfolgenden Tabelle 2 entnommen werden. Die Umsetzung des alternativen Ansatzes erfolgt in zwei unterschiedlichen Varianten, durch die asymmetrischen Signieralgorithmen RSA und ECDSA. Aufgrund der komplexeren Berechenbarkeit von elliptischen Kurven entspricht die kürzere Schlüssellänge bei ECDSA dem gleichen Sicherheitsstandard wie die Schlüssellänge der RSA-Variante [PP16]. Die Struktur des Zeitdatenpaketes wurde dem Referenzpapier nachempfunden.

Kryptografische Operation	**Verwendeter Standard, Hashalgorithmus und Schlüssellänge**
RSA-Signierung (Server)	PKCSv15; SHA-256; 3072 Bit
ECDSA-Signierung (Server)	secp256r1; SHA-256; 256 Bit
RSA-Verifizierung (Client)	PKCSv15; SHA-256; 3072 Bit
ECDSA-Verifizierung (Client)	secp256r1; SHA-256; 256 Bit

Tab. 2: Algorithmen des alternativen Ansatzes

5.5 Ergebnisse des Praxisversuchs

Die Tabelle 3 zeigt die benötigte Bandbreite einer Synchronisation des entsprechenden Ansatzes. Wie zu erkennen ist, benötigen in diesem Szenario alle sicheren Varianten eine höhere Bandbreite als das ungeschützte SNTP-Protokoll. Grundsätzlich wird bei allen Varianten das SNTP-Paket in beide Richtungen transportiert.

Der Bandbreitenbedarf des asymmetrischen Ansatzes schwankt stark je nach verwendetem Algorithmus. Dies ist bedingt durch die zu transportierenden Signatur. Die Länge der Signatur ist abhängig vom konkreten Algorithmus und der verwendeten Schlüssellänge. Beim RSA-Standard entspricht die Signaturlänge ungefähr der einfachen und beim ECDSA-Standard der zweifachen Schlüssellänge [PP16]. Die Schlüssellänge kann nicht beliebig gekürzt werden, ohne den Sicherheitsstandard herabzusetzen. Aufgrund dieses Auffüllens kann durch eine Komprimierung der Nutzdaten keine Performanzverbesserung erzielt werden. Sofern asymmetrische Kryptografie in verbreiteten Algorithmen genutzt wird, ist die Signatur in dem vorliegenden Szenario der Zeitsynchronisation in der Regel größer als die zu sichernden Zeitdaten.

Der Bandbreitenbedarf des ANTP-Ansatzes setzt sich neben dem SNTP-Paket aus dem Zustandspaket und den MAC zusammen und ist etwas höher als der Bedarf des alternativen Ansatzes mittels elliptischer Kurven.

Die Tabelle 3 zeigt außerdem die Rechenzeit einer einzelnen Zeitsynchronisation, wobei die unterschiedlichen, umgesetzten Verfahren verglichen werden. Es werden jeweils die gleichen Datensätze mit gleichen Grundvorrausetzungen getestet. Die Erstellung der Schlüsselpaare und der symmetrischen Geheimwörter erfolgte vor dem Zeitnehmen, da es sich hierbei um Operationen aus den Initialphasen handelt. Bei den visualisierten Daten handelt sich um Durchschnittswerte aus einer Testreihe von 10.000 Versuchen. Da das SNTP-Protokoll ungeschützt ist, fällt keine Rechenzeit für kryptografische Operationen an.

Zeitsynchronisationsprotokoll	Bandbreite in Byte[2]	Rechenzeit in ms[3]
SNTP	100	-
ANTP	209	0,018
Asymmetrische Alternative (ECDSA)	164	6,259
Asymmetrische Alternative (RSA)	484	15,985

Tab. 3: Vergleich der Testimplementierungen

Im Ergebnis zeigt sich eine große Differenz zwischen dem ANTP-Protokoll und dem alternativen, auf asymmetrischer Verschlüsselung basierenden, Verfahren. Dieses benötigt im Verhältnis ein Vielfaches an Rechenleistung. Die drei kryptografischen Operationen des ANTP-Protokolls verbrauchen zusammengenommen gerade einmal 18 Mikrosekunden an Rechenzeit. Dieses Ergebnis bestätigt die Aussagen kryptografischer Grundlagenliteratur [Sc15], dass asymmetrische Krypto-Operationen um bis zu Faktor Tausend langsamer sind als vergleichbare symmetrische Verfahren.

Die Versuchsergebnisse der Reimplementierung des ANTP-Protokolls aus Tabelle 3 lassen sich nur bedingt mit den Ergebnissen der Primärquelle aus Tabelle 1 vergleichen. Die Primärquelle nutzt eine leistungsstärkere Ausführungsplattform, legt den Schwerpunkt auf die Serverlast und bietet eine vollumfängliche und optimierte Lösung. Wenn der Durchsatz der Synchronisierungsphase aus der Primärquelle nun dennoch in eine Laufzeit pro Synchronisation umgerechnet wird, so liegt diese mit ca. 6 Mikrosekunden in einem ähnlichen Bereich wie die 18 Mikrosekunden der Reimplementierung.

5.6 Fazit des Praxisversuchs

Durch den Praxisversuch konnte die grundlegende Funktionsfähigkeit des ANTP-Protokolls bestätigt werden. Anhand der Angaben des Referenzpapiers [DSZ16] konnte eine Reimplementierung vorgenommen werden, was zeigt, dass dem Referenzpapier ein

[2] Bezogen auf den Bandbreitenbedarf einer einzelnen Synchronisation.
[3] Bezogen auf die kombinierte Client- und Server-Rechenzeit der kryptografischen Operationen einer einzelnen Synchronisation.

hoher Detailgrad zugrunde liegt. Auch die darin publizierten Performanzangaben konnten bestätigt werden. Die Differenzen im Durchsatz sind keine Größenordnungen voneinander entfernt und lassen sich durch Unterschiede in der Implementierung und Testmethodik erklären.

Mit der Entwicklung und Implementierung eines alternativen Ansatzes konnte ein Verfahren aufgezeigt werden, das eine deutlich geringere Komplexität als das ANTP-Protokoll aufweist. Der Bandbreitenbedarf des alternativen Ansatzes war teilweise geringfügig besser, je nach verwendetem asymmetrischem Signierstandard aber auch schlechter. Der Durchsatz lag hingegen weit hinter dem des ANTP-Protokolls zurück. Dies dürfte die geringere Komplexität in keinem realen Anwendungsszenario rechtfertigen. Diese Erkenntnisse stützen das Vorgehen des ANTP-Protokolls, einen hybriden Ansatz zu nutzen. Auch hochoptimierte asymmetrische Signier- und Verschlüsselungsverfahren erreichen in puncto Durchsatz nicht ansatzweise die Größenordnung einer auf einer Prüfsumme basierenden Signierfunktion (MAC-Algorithmus). Es wurde gezeigt, dass sich der asymmetrische Ansatz nur schwer weiter optimieren lässt, da durch die Nutzung der Blockgrößen eine natürliche Grenze vorhanden ist. Das Signieren oder Verschlüsseln von noch kleineren Daten als dem SNTP-Paket bringt keine weiteren Performanzvorteile.

Es zeigte sich außerdem, dass Entwicklern mit Crypto++ eine moderne Programmierbibliothek für kryptografische Operationen zur Verfügung steht. Durch das zugrundeliegende Konzept verhält sich die Bibliothek, in Bezug auf Anwendungsfehler, weniger anfällig als beispielsweise OpenSSL.

6 Fazit

Die Zielsetzung von ANTP ist, mittels einer Authentifizierung des Servers gegenüber dem Client eine Desynchronisierung des Clients durch einen Angreifer zu verhindern. Der Server soll dabei dennoch zustandslos arbeiten und einen hohen Durchsatz erreichen. Diese Ziele werden durch ANTP erreicht. Die Angaben der Autoren, die generelle Funktionsweise des ANTP-Protokolls, seine Umsetzbarkeit und die hohe Performanz gegenüber alternativen Lösungen konnten durch einen Praxisversuch bestätigt werden.

Allerdings könnte der geringe Durchsatz in der Schlüsselaustauschphase in der Praxis zu Problemen führen. Die Aktualisierung der Zustandspakete müsste zeitlich gleichmäßig verteilt stattfinden. Dabei ist zu bedenken, dass nur der Client die tatsächliche Anzahl an bisherigen Synchronisationen mit einem Sitzungsschlüssel kennt. Eine genauere Betrachtung dieser Problematik wäre in Zukunft wünschenswert. Durch die serverseitig erhöhte Rechenlast von ANTP bietet dieses im Vergleich zu ungeschützten Protokollen zusätzliche Angriffspunkte. In diesem Kontext werden andere Schwachstellen von NTP, die für DoS- und DDoS-Angriffe verwendet werden können, durch ANTP nicht aufgegriffen. Weiterhin wird nicht detailliert auf den Vorgang des Protokollwechsels

vorhandener Geräte und Dienste eingegangen. Allgemeine kryptografische Probleme sind auch bei ANTP vorhanden, so ist dessen Sicherheit von der Güte der kryptografischen Implementierung und der Methodik der Zertifikatsbereitstellung abhängig. Insgesamt bestehen somit noch einige praktische Probleme, die zwar nicht direkt das ANTP-Protokoll betreffen, für die aber dennoch Lösungen gefunden werden müssen.

Unterschiedliche Angriffe haben gezeigt, dass eine sichere Zeitsynchronisierung einen wichtigen Baustein für viele sicherheitskritische Subkomponenten darstellt. Die Relevanz dieses Themengebiets wird sich in Zukunft durch die intensive Nutzung von Zertifikaten und dezentralen Netzwerken vermutlich noch weiter erhöhen. Das ANTP-Protokoll scheint dabei ein sehr guter Kandidat dafür zu sein, die Lücke an sicheren Zeitsynchronisierungsverfahren zu schließen.

Literaturverzeichnis

[BR93] Bellare, M.; Rogaway, P.: Random Oracles are Practical: A Paradigm for Designing Efficient Protocols. In: CCS '93 Proceedings of the 1st ACM Conference on Computer and Communications Security. Fairfax, S. 62-73, 1993.

[DSZ16] Dowling, B.; Stebila, D.; Zaverucha, G.: Authenticated Network Time Synchronization. In: Proceedings of the 25th USENIX Security Symposium. Texas, S. 823-840, 2016.

[Gr14] Understanding and mitigating NTP-based DDoS attacks, https://blog.cloudflare.com/understanding-and-mitigating-ntp-based-ddos-attacks/, Stand: 07.02.2017.

[Ja12] Jager T.; Kohlar, F.; Schäge, S.; Schwenk J.: On the Security of TLS-DHE in the Standard Model. In: Proceedings of the 32nd Annual Cryptology Conference. Santa Barbara, S. 273-293, 2012.

[Ma16] Malhotra, A.; Cohen, I. E.; Brakke, E.; Goldberg, S.: Attacking the Network Time Protocol. In: Network and Distributed System Security Symposium 2016. San Diego, 2016.

[Mi10] Network Time Protocol (Version 4), https://tools.ietf.org/html/rfc5905, Stand: 07.02.2017.

[Mi92] Network Time Protocol (Version 3), https://tools.ietf.org/html/rfc1305, Stand: 07.02.2017.

[PP16] Paar, C.; Pelzl, J.: Kryptografie verständlich. Ein Lehrbuch für Studierende und Anwender, Springer Vieweg, Wiesbaden, 2016.

[Rö12] Röttger, S.: Analysis of the NTP Autokey Procedures. Technische Universität Braunschweig, 2012.

[Sc15] Schneier, B.: Applied Cryptography. Protocols, Algorithms and Source Code in C, John Wiley & Sons, Indianapolis, 2015.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 2461

Gegenüberstellung von kostengünstigen Robotern als Lernobjekte für Schulen

Saskia Uta Dübener[1], Anina Ambra Morgner[1], Hans Felix Haupt[2], Maximilian Hugo Volk[2], Chiara Chantal Fischer[1], Simon Konstantin Langner[2] und Anton Jacker[3]

Abstract: Im Mittelpunkt steht der Vergleich verschiedener Roboter, welche als Lehrmittel an Schulen geeignet sind und in mehreren Kategorien miteinander verglichen werden. Außerdem wird das Projekt Dezibot präsentiert. Das Ziel des Projektes ist es, einen Bausatz für einen Roboter zu entwickeln, welcher $10 kosten soll und an Schulen verwendet werden kann. Dabei liegt der Schwerpunkt der Bewertung darauf, dass jeder Lernende mindestens einen Roboter an seinem Arbeitsplatz alleine nutzen und programmieren kann. Es sollen keine dedizierten Räume notwendig sein.

Keywords: Roboter, Schule, Dezibot, Vibrationsmotor, Kilobot, AERobot, Lernobjekt, JIA

1 Einleitung

Die letzten Jahre brachten im Bereich der Robotik große Fortschritte. [El15] Die Forschung entwickelt sich immer mehr in die Richtung der im Schwarm agierenden Roboter. [RAN12; Ru13] Das Ziel bei diesen sogenannten Schwarmrobotern ist es, das Verhalten einer großen Menge an Robotern zu kontrollieren und diese so geschickt einzusetzen, dass sie so effektiv wie Ameisengruppen werden. [Ru13]

Die Fortschritte bei Schwarmrobotern führten dazu, dass man nun versuchen kann, die Roboter so kostengünstig zu gestalten, dass sie als Lernobjekt im Schulalltag einsetzbar sind. Dies ist wichtig, da man durch die Verwendung von Robotern die fachlichen Kompetenzen im Bereich der Programmierung fördert, da es motiviert, die Auswirkungen der eigenen Programmierung an einem interaktiven Objekt zu betrachten. Das Zusammenspiel von Robotern mehrerer Teilnehmer unterstützt zudem soziale Kompetenzen. Aufgrund zu hoher Preise ist es jedoch meist nicht realisierbar, einen kompletten Schulsatz zu kaufen. Dass nicht genügend Arbeitsmittel für jeden zur Verfügung stehen, ist ein häufig auftretendes Problem an Bildungseinrichtungen, wodurch sich mehrere ein Arbeitsgerät teilen müssen und der Lernfortschritt Einzelner leidet. [Le04, S.118] Aus eigener Erfahrung der Autoren und Autorinnen, welche an drei verschiedenen Gymnasien lernen, lässt sich sagen, dass viele Schulen nur zwei bis drei

[1] Neue Nikolaischule - Gymnasium der Stadt Leipzig, Klassenstufe 10, saskia-uta.duebener@hft-leipzig.de, anina-ambra.morgner@hft-leipzig.de, chiara-chantal.fischer@hft-leipzig.de
[2] Immanuel-Kant-Schule - Gymnasium der Stadt Leipzig, Klassenstufe 10, hans-felix.haupt@hft-leipzig.de, maximilian-hugo.volk@hft-leipzig.de, simon-konstantin.langner@hft-leipzig.de
[3] Werner-Heisenberg-Schule - Gymnasium der Stadt Leipzig, Klassenstufe 10, anton.jacker@hft-leipzig.de

doi:10.18420/in2017_250

Roboter besitzen, welche im Unterricht durch den Lehrer demonstriert werden oder durch mehrere Lernende in Gruppen benutzt werden müssen. Aber eine Schülerin bzw. ein Schüler lernt am besten, wenn die Aufgaben selbstständig bearbeitet und gelöst werden können. [Le04, S.118] Des Weiteren besteht so die Möglichkeit, zu jeder Zeit den Roboter zu verwenden und ihn beliebig zu erweitern. Ferner sind wir der Meinung, dass Einige das Interesse am Arbeiten mit solchen Robotern verlieren, wenn sie nicht selber etwas bedienen oder programmieren dürfen. Aus diesen Gründen ist es besser, wenn jede Schule für jeden Lernenden einen Roboter zum Arbeiten bereitstellen kann, was nur funktioniert, wenn die Roboter kostengünstiger sind. Daher stehen Kostenreduktionen solcher Roboter im Mittelpunkt aktueller Forschungen.

Wir stellen aktuelle, kostengünstige Roboter für Bildungseinrichtungen vor. Dabei orientieren wir uns unter anderem am AFRON Wettbewerb [AF12], Pabanis Arbeit [PS15] und weiteren europäischen Robotern. Wir haben nur Exemplare für unseren Vergleich ausgewählt, die für den Gebrauch an Schulen propagiert wurden. Für die Recherche lagen uns außerdem ein LEGO Mindstorm, ein ASURO, ein AERobot und ein vereinfachtes Modell des Light-Tracking Bristlebots vor. Für alle anderen Roboter stand uns nur Literatur zur Verfügung.

Im Folgenden werden Roboter untereinander in verschiedenen Punkten verglichen sowie Empfehlungen ausgesprochen. Wir haben uns auf die Schwerpunkte Preis, Größe, Kinematik, Programmierbarkeit, Verfügbarkeit im Bausatz und Eignung für verschiedene Altersklassen aufgrund der erforderlichen Fähigkeiten für den Zusammenbau und die Programmierung der Roboter beschränkt. Uns ist dabei durchaus bewusst, dass es noch andere mögliche Vergleichskategorien gäbe, jedoch sind diese aus unserer Sicht am wichtigsten. Hierbei gehen wir nur auf Roboter ein, die man als fertiges Gerät, als Bausatz oder in Einzelteilen käuflich erwerben kann.

2 Stand der Wissenschaft

Weil der Bedarf an kostengünstigen Robotern für Schulen in Afrika groß war, hat die Organisation African Robotics Network (AFRON) im Jahr 2012 einen Wettbewerb zur Entwicklung von „10 Dollar Robots" gestartet. Das Ziel war es, einen Roboter zu entwickeln, der leicht nachzubauen ist, von Schülerinnen und Schülern eigenständig programmiert werden kann und zudem unter $10 kostet. In diesem Wettbewerb hat die Harvard University mit ihrem Kilobot einen Sieg erlangt. [AF12]

Kilobot

Der Kilobot von Rubenstein et al. ist ein Low-Cost-Roboter in der Programmiersprache C, der im Rahmen des Wettbewerbs von AFRON entstanden ist. Er dient dazu, kollektive Algorithmen auf einer großen Menge an Robotern zu testen. Das Ziel beim Entwickeln der Kilobots war es, einem Einzelbenutzer die Möglichkeit zu geben, ein großes Kilobot-Kollektiv einfach zu bedienen. Der Roboter wurde so entwickelt, dass er

vier populäre Schwarmverhalten implementieren kann: die simulierte Futtersuche, die Formationskontrolle, die Phototaxis und die Synchronisation. Den Entwicklern war es wichtig, Formationsalgorithmen wie SDASH zu implementieren, wofür der Kilobot bestimmte Fähigkeiten benötigt: Er muss sich vorwärtsbewegen, rotieren, mit Nachbarn kommunizieren, die Distanz zwischen sich selbst und anderen Robotern bestimmen und er braucht für solche Algorithmen genügend Speicher. Formationsalgorithmen erlauben es Robotern, ihren Standort in der Ebene gegenseitig zu kontrollieren bzw. zu korrigieren und dadurch im Schwarm Figuren zu bilden. [RAN12; Ru13]

Der Roboter besteht grundlegend aus zwei versiegelten Vibrationsmotoren, einem Lithium-Akku, drei starren Stützbeinen, einer Infrarot-LED und Infrarot-Photodioden, einer RGB-LED und einem Umgebungslichtsensor. Als Chassis wird eine Leiterplatte mit einem Durchmesser von 3,3 cm benutzt. Auf der Unterseite der Leiterplatte finden der Infrarotsender bzw. -empfänger, der ATmega328 und die drei Beine Platz. [RAN12; Ru13] Für die Fortbewegung sind die Vibrationsmotoren zuständig. Die Zentripetalkräfte der Motoren werden in die Vorwärtsbewegung des Kilobots umgewandelt. Die Infrarot-LED und Infrarot-Photodioden sind für die Kommunikation mit den benachbarten Robotern, die bis zu 10 cm entfernt sein können, zuständig. Durch diese Kommunikation ist eine größere Menge an Kilobots in der Lage, Formationen zu bilden. Oberhalb der Aufstellfläche hängt ein leistungsstarker Infrarotsender, der Overhead-Controller. Er ist in der Lage, mit wenig Aufwand allen Robotern gleichzeitig Informationen zu senden. [Ru13]

Die geringe Größe der Kilobots ist für schulische Zwecke gut geeignet, da die Roboter problemlos auf einen Schultisch passen. Zusätzlich besitzen sie eine RGB-LED, die für Interaktivität sorgt. Man kann mehrere hundert Kilobots gleichzeitig laden, indem man sie auf eine metallische Oberfläche stellt und sie mit einer leitfähigen Platte überdeckt, was eine Arbeitserleichterung im Schulbetrieb bietet. Des Weiteren wird behauptet, dass jeder Roboter innerhalb von 5 min montierbar sei [RAN12], was schwer vorstellbar ist, wenn man sich die Elektronik des Roboters genauer anschaut. [Ru13] Für den Einsatz in der Schule ist nachteilig, dass man den Overhead-Controller benötigt, den man für jeden Arbeitsplatz mit einem Preis von 590€ [Gé17] bereitstellen müsste, weil jeder Roboter einzeln und nicht als Schwarm programmiert werden soll. Der Kilobot belegte einen ersten Platz beim AFRON Wettbewerb 2012, obwohl er mit $14 [RAN12; AF12] zu teuer ist. Diesen Preis erhält man außerdem erst, wenn man die Einzelteile für 1000 Roboter kauft. [Ru13] Fertig zusammengebaut kostet jeder Kilobot 135€ ($148). [Ru15] Der nötige Aufwand ist uns für den Gebrauch in Schulklassen zu hoch.

Light-Tracking Bristlebot

Oft nimmt man sich auch ein Beispiel an der Tier- und Pflanzenwelt, um seine Roboter funktionsfähiger und individueller zu gestalten. [Ka14] So ist auch der Light-Tracking Bristlebot, ein einfach konstruierter Roboter von Science Buddies, der wie ein Insekt aussieht, entstanden. Er ist in der Lage, automatisch auf eine Lichtquelle zuzufahren.

Dieses Verhalten kann man auch bei echten Insekten beobachten. Es wird dort „Phototaxis" genannt. [SB16a; Ri64, S.321]

Den Roboter mit seiner Grundfläche von 12,6 cm² kann man als Bausatz für 54,99€ ($59.95) [SB16b] bestellen, wobei zusätzlich zwei Zahnbürstenköpfe benötigt werden. Science Buddies verspricht, dass die Anleitung so einfach erklärt sei, dass selbst Kinder ohne vorherige Elektronik-Erfahrung diesen Roboter leicht zusammenbauen können. [SB16b] Eine Steckplatte bildet das Chassis des Roboters. Die Kinematik basiert grundlegend auf den Zahnbürstenköpfen und den Vibrationsmotoren. [SNS11, S.57] Bei der Vibration werden im ersten Schritt die Borsten zusammengedrückt. Dadurch entsteht eine Spannung auf den Borsten und diese fungieren wie Federn. Die rücktreibende Kraft lässt sie im zweiten Schritt nach oben springen und damit bewegt sich der Roboter. Er verwendet zwei Fototransistoren, um die Vibrationsmotoren zu kontrollieren. So kann man ihn mit ein wenig Übung ganz leicht durch Labyrinthe und Hindernisparcours führen. [SB16a]

Die ausführliche Anleitung zum Bau eines Light-Tracking Bristlebots ist vorteilhaft für Schüler, die bisher wenig Erfahrung mit Mechanik gesammelt haben. Das Prinzip der Fortbewegung ist simpel, da es auf der Phototaxis beruht. Dieses können auch jüngere Kinder gut verstehen. Wir empfehlen den Roboter eher im Physik- als im Informatikunterricht einzusetzen, da die Algorithmen durch Ändern der Elektronik des Roboters implementiert werden und sich somit der Lerninhalt eher auf elektrische Schaltungen bezieht.

ASURO

Ein weiterer kostengünstiger Schulroboter ist der ASURO vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt. Der DIN A6-Blatt große Roboter ist in C programmierbar und seinen Bausatz kann man bereits für 50€ ($54.46) pro Stück erhalten. [As17] Er besitzt zwei Fototransistoren zur Linienverfolgung [Ei12, S.240], sechs Kollisionstaster, vier Leuchtdioden als Statusanzeige [Ei12, S.243], einen Mikrocontroller ATmega8L [Ei12, S.240] und zwei Lichtschranken für die Odometrie, die Zählung der Radumdrehungen. [Os07; Ei12, S.243] Die Kinematik des Roboters beruht auf zwei Rädern. Der ASURO kommuniziert über Infrarotsignale. [GG04, S.21].

Für jüngere Schülerinnen und Schüler ist der ASURO aufgrund der anfallenden Lötarbeiten nicht geeignet. Da es sich bei dem Roboter um einen Fahrroboter handelt, benötigt er viel Platz zum Bewegen. Zusätzlich erscheint uns der Roboter für eine Anwendung in der Schule zu teuer.

MIT SEG

Der MIT SEG gewann beim AFRON 2012 den dritten Platz. [Sl12] Diesen Origami-inspirierten Roboter, welcher sich durch zwei große gefaltete Räder aus Polyester charakterisiert, [Sl12; MI14] die mit modifizierten Servomotoren auf dem Chassis verbunden sind, schätzen wir auf eine Fläche von 96 cm². Außerdem besitzt er einen

Infrarotsensor, wodurch sich für den Roboter die Möglichkeit ergibt, Hindernisse zu erkennen. [Sl12; Se17] Die Entwickler behaupten, dass der Roboter an einem Tag zu bauen sei. [Sl12; Se17].

Eine auf die vorherigen Iterationen aufbauende Version des SEG, der MIT Printable Robot, gewann im Jahr 2014 im Wettbewerb von AFRON und IEEE Robotics and Automation Society sogar Platz 1. [MI14; Hu14, S. 11] Dieser Roboter besitzt nun noch robustere, kostengünstigere und anpassungsfähigere Hardware [MI14; Th17], zusätzliche Sensoren und eine überholte Software. Zudem wird durch eine LED und einen Photosensor eine Linienverfolgung ermöglicht. [Sp14; Hu14, S.11; Th17] Der Roboter wurde um eine Arduino kompatible graphische Drag & Drop-Programmierung [MI14] erweitert und lässt sich über einen für 18,40€ ($20) bestellbaren Bausatz eigenständig und ohne weiteres Werkzeug per Hand bauen. Der Preis bezieht sich auf die Abnahme von vier Stück. [Th17; Hu14, S.11] Zum Betrieb benötigt er als Fahrroboter viel Fläche. Wegen der einfachen Programmiersprache ist der Erwerb der Fachkompetenzen nur begrenzt.

SwarmRobot

Ein weiterer Mitbewerber beim AFRON Wettbewerb 2012 war der Xinchejian Shanghai Hackerspace, der mit seinem SwarmRobot den zweiten Platz hinter dem Kilobot belegte. [AF12] Das Chassis besteht aus einer Platine, an der die Räder aus zwei Plastikdeckeln von Getränkeflaschen befestigt sind. Der Roboter kann über Infrarotsignale kommunizieren und besitzt einen ATtiny2313 Mikrocontroller, eine H-Brücke zur Steuerung der Motoren, einen Akku und eine Leuchtdiode, die als Poweranzeige und als Stütze fungiert. [Xi12] Mit einem Preis von 8,72€ ($9.51) ist er kostengünstig, jedoch benötigt er, wie alle Fahrroboter, eine Menge Platz für seine Bewegungen. [Xi12]

Lollybot

Ein anderer Roboter, der am AFRON Wettbewerb 2012 teilnahm, ist der Lollybot, welcher von Dr. Tom Tilley von der Payap University entwickelt wurde und nur 8,22€ ($8.96) kostet. Er besteht teilweise aus einfachen Alltagsgegenständen, wie z.B. zwei Chupa Chups Lollies und Flaschendeckeln als Räder. Sein Chassis wird von einem nur 3,48€ ($3.80) teuren Dualshock Controller mit USB Anschluss gebildet. Der Controller enthält zwei Force-Feedback Vibrationsmotoren, welche der Roboter für die Fortbewegung nutzt. Die zwei Lollies werden an den Joysticks befestigt und verlängern sie zu Fühlern. An der Unterseiten sind Sensoren zur Linienverfolgung angebracht. Der USB Anschluss stellt gleichzeitig eine Spannungsversorgung und eine Schnittstelle zwischen Roboter und Computer zur Verfügung. Der Roboter wird durch den angeschlossenen Computer gesteuert. [AF12, Hu14 S.11]

Der Lollybot ist ein sehr kostengünstiger Roboter, dessen Bauteile frei verfügbar sind. Da er ein Fahrroboter ist, benötigt er relativ viel Platz. Außerdem erweist sich die ständige Verbindung mit einem Computer im Unterricht als unpraktisch, da die Kabel

ein erhöhtes Sicherheitsrisiko mit sich bringen, sich verknoten können und außerdem den Bewegungsraum der Roboter stark einschränken.

LEGO Mindstorms

Bei LEGO Mindstorms handelt es sich um einen Baukasten nach dem Lego-Technik-Prinzip. Neben den Legosteinen sind Elektromotoren, verschiedene Sensoren sowie ein programmierbarer Controller im Baukasten enthalten. Die Controllereinheit kann über eine graphische Benutzeroberfläche oder eine Hochsprache programmiert werden. [Pe15]

Der Vorteil der Mindstorms Roboter besteht darin, dass sie selbst zusammengebaut werden können. Dadurch entsteht die Möglichkeit mit einfachen Robotern anzufangen und sich langsam zu komplexeren Maschinen zu steigern. Leider ist ein gewisser Installationsaufwand nötig, bevor man eine Hochsprache benutzen kann. Außerdem liegen die Kosten mit 320€ ($350) [Ru15] sehr hoch, weshalb es nicht möglich ist, dass jeder Lernende einen Roboter besitzt. Die Kinematik basiert auf mit Getrieben verbundenen Gliedmaßen oder Rädern. Durch das Prinzip der Legosteine und des Controllers besitzt der Roboter des Weiteren eine große Grundfläche.

Kobot

Ein weiterer Roboter ist der Kobot von der Middle East Technical University. Der Kobot ist zylinderförmig mit einem Durchmesser von 12 cm. An das Chassis sind zwei Motoren für den Antrieb der Räder, drei AA Batterien oder ein Lithium-Polymer-Akku als Stromversorgung und einige Sensoren angebracht. Als zentrale Steuerung nutzt der Kobot einen PIC16F877A Mikrocontroller. Der Roboter verfügt über acht in einem Kreis angeordnete Infrarotsensoren, einen Summer und drei LEDs. Ausschließlich für Bildverarbeitung wird ein 200 MHz PXA255 Mikroprozessor genutzt. [Tu07] Die Besonderheit des Kobots ist, dass er über ZigBee programmiert werden kann. [Tu07; PS15] Aufgrund der vielen teuren Bauteile und der komplizierten Programmierung durch die Kommunikation von einem Mikrocontroller und einem Prozessor ist der Roboter nicht zu empfehlen. Leider gelang es uns außerdem nicht, eine Bezugsquelle für den Roboter zu finden.

AERobot

Nicht vergessen sollte man in dieser Auflistung den AERobot, ein Projekt des Wyss Institutes der Harvard Universität. Er nahm am AFRON Wettbewerb 2014 teil und gewann gleich in mehreren Kategorien. Es wird angegeben, dass der Preis pro Baukasten bei ca. 9,10€ ($10) liegt. Nach Aussagen der Entwickler solle der AERobot für Lernende der Unterstufe gut geeignet sein, da er schnell und ohne Vorwissen durch Anbringen von zwei Schrauben zusammengebaut werden kann. [Ru15]

Die Programmierung erfolgt über eine einfache graphische Sprache. Der Roboter besitzt einen USB-Stecker zum Upload und Laden des Akkus. Die Ausstattung umfasst Vibrationsmotoren, welche zur Fortbewegung notwendig sind, sowie Infrarotsensoren,

welche zur Hinderniserkennung und Abstandsmessung dienen, womit der Roboter der Phototaxis fähig ist. Weiterhin sind zum Boden ausgerichtete Infrarotsender und -empfänger für die Linienverfolgung zuständig und zur Interaktion mit dem Anwender ist eine RGB-LED angebracht. [Ru15]

Bei einem Testkauf stellten wir fest, dass ein Bausatz, Steuern und Lieferkosten einbezogen, 29,51€ ($32.08) und nicht $10 kostet. Die Anschaffung ist schwierig, da er zur Zeit nicht hergestellt wird. Im Vergleich zu anderen Robotern ist der AERobot kostengünstig und benötigt durch seinen Vibrationsantrieb wenig Platz. Der USB-Anschluss ist für die Programmierung durch seine weite Verbreitung von Vorteil. Wegen der einfachen graphischen Programmiersprache können jüngere Schülerinnen und Schüler das Programmieren leicht erlernen. Aufgrund der Abbildung 3 in [Ru15] schätzen wir ein, dass die Elektronik des Roboters zu kompliziert ist, um Gegenstand des Unterrichts sein zu können.

3 Eignung für die Schule

Besonders wichtig erscheint uns bei der Beurteilung der Preis. Bei der Literaturrecherche hat sich ergeben, dass $10 eine gute Preisgrenze bilden [AF12], damit die Schule möglichst für alle Lernenden einen Roboter bereitstellen kann, über den diese zum besseren Lernfortschritt persönlich verfügen [Le04, S.118]. Dass der Roboter keinen weiträumigen Platz in Anspruch nimmt, um sich z.B. auf einem Schultisch frei zu bewegen, besitzt ebenfalls Relevanz. Nur in seltenen Fällen kann ein kompletter Raum für Roboter-Parcours belegt werden. Für den Platzbedarf einer Bewegung spielen die Größe und Kinematik des Roboters eine Rolle. Auf einem durchschnittlichen Schultisch stehen nur rund 50 x 40 cm² zur Verfügung. Bei einem höheren Bedarf ist der Roboter zu groß. Füße und Vibrationsmotoren sind geeignetere Kinematiken als Räder, da diese durch ihre stets äußere Befestigung am Chassis den Roboter verbreitern. Zusätzlich sind Roboter mit weniger Mechanik kostengünstiger.

Die Programmierbarkeit setzt sich für uns aus kostengünstigem Upload und einer zielgruppengerechten Programmiersprache zusammen. Um Interferenzen mit der Infrarotschnittstelle des Nachbarn zu vermeiden, sollte für den Schulgebrauch eine Kabelverbindung verwendet werden. Des Weiteren wären Infrarotsender am Computer sehr teuer.

Ob der Roboter bereits fertig montiert ist und nur noch programmiert werden muss oder ob es sich um einen Bausatz handelt, welchen man noch selbst zusammenbauen muss, ist bei der Betrachtung außerdem ausschlaggebend. Verwendet man jedoch einen Bausatz darf die Montagezeit nicht zu groß sein. Allerdings hat man die Möglichkeit beim Zusammenbau mehr über die elektronischen Komponenten zu lernen.

Ferner haben wir die aus unsere Sicht geeignete Altersgruppe betrachtet, wobei wir wie folgt definieren: Roboter, die für den Zusammenbau nur einfache Fähigkeiten wie z.B.

das Kleben, das Falten bzw. das Bestücken einer Steckplatte erfordern und zu deren Programmierung keine bzw. eine graphische Programmiersprache nötig ist, eignen sich bereits für Grundschüler. Hierbei spielt auch das kinderfreundliche Design eine Rolle. Der Zusammenbau von komplexeren Robotern ist anspruchsvoller, weswegen wir hierbei eine Empfehlung ab Sekundarstufe I aussprechen. Handelt es sich um eine textuelle Programmiersprache empfehlen wir den Roboter erst ab Klassenstufe 8. [Sä11, S.9] Roboter, bei denen Arbeitstechniken wie Löten notwendig sind, empfehlen wir, aufgrund der fehlenden Behandlung in der Schule, generell erst in der Sekundarstufe II. Die folgenden Tabellen stellen den Vergleich der einzelnen Roboter untereinander in den einzelnen Kategorien dar.

Roboter	Upload	Grundfläche	Platzbedarf	Kinematik
Kilobot	Infrarot	8,5 cm²	gering	Vibration
Light-Tracking Bristlebot	-	12,6 cm²	gering	Vibration
ASURO	Infrarot	155 cm²	groß	Räder
MIT Printable	keine Angabe	96 cm²	groß	Räder
SwarmRobot	ISP 6	104,14 cm²	groß	Räder
Lollybot	USB	mind. 86,35 cm²	groß	Räder
LEGO Mindstorms EV3	USB/ manuell	mind. 77 cm²	groß	Räder
Kobot	ZigBee	113 cm²	groß	Räder
AERobot	USB	ca. 28 cm²	gering	Vibration
Dezibot	TTL-RS232	19,63 cm²	gering	Vibration

Tab. 1: Kenndaten der Roboter, Grundfläche geschätzt

Roboter	Altersgruppe	Preis/Los	Verfügbarkeit	Bausatz
Kilobot	8. KS+	12,85€/1000 146,50€/10	bestellbar	nein
Light-Tracking Bristlebot	Grundschule+	55,03€/1	bestellbar	ja
ASURO	SEK II	49,99€/1	bestellbar	nein
MIT Printable	Grundschule+	18,36€/4	bestellbar	ja
SwarmRobot	SEK II	8,73€/1	nicht bestellbar	ja
Lollybot	SEK II	8,22€/1	bestellbar	ja
LEGO Mindstorms EV3	SEK I	mind. 320€/1	bestellbar	ja
Kobot	SEK II	keine Angabe	nicht bestellbar	keine Angabe
AERobot	SEK I	13,07€/500 23,61€/1	nur Restbestände	nein
Dezibot	SEK II	7,71€/1	bestellbar	ja

Tab. 2: Verfügbarkeit einzelner Roboter (KS: Klassenstufe, SEK: Sekundarstufe)

4 Dezibot

Aufgrund dessen, dass kein Roboter unseren Anforderungen vollständig entsprach, brauchten wir eine eigene Lösung. Diese entstand, als Herr Prof. Wagner uns im Rahmen der JIA (Junior-Ingenieur-Akademie) [Te16, S. 8-9], an welcher die Autoren und Autorinnen teilnehmen, einen von ihm entwickelten Prototypen eines Roboters zeigte. Durch die Zusammenarbeit mit Herrn Prof. Wagner entstand dann der Dezibot (Abb. 1), ein durch Vibration angetriebener Roboter. Er besteht inklusive der gesamten Elektronik aus 21 Bauteilen und wird in C programmiert. Des Weiteren besitzt er einen Infrarotsender, drei Empfänger und einen Mikrocontroller ATtiny261A sowie eine RGB-LED. Der Kilobot wurde als Vorbild genutzt und stark vereinfacht, wobei man allerdings kleine Kompromisse in Bezug auf die Fähigkeiten eingehen musste, wodurch der Dezibot unter anderem viel weniger Speicher besitzt. Obwohl die Entwicklung noch nicht vollständig abgeschlossen ist, entstanden bereits Programme für den Dezibot, wobei die Fortbewegung und die Nutzung der RGB-LED im Vordergrund stand. Außerdem arbeiten wir daran, dass der Roboter die Phototaxis beherrscht.

Baugruppe	Preis
Steuerung	2,28€
Struktur	1,01€
Antrieb	0,83€
Kommunikation	1,64€
Visualisierung	1,03€
Energieversorgung	0,87€
Sonst. Elektronik	0,05€
Gesamt	**7,71€**

Tab. 3: Preisliste Dezibot

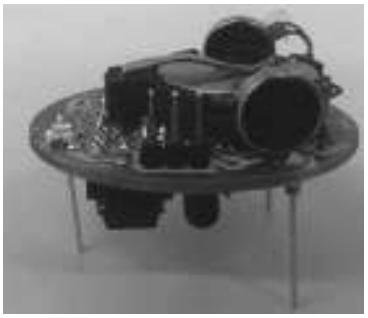


Abb. 1: Der Dezibot

Der Dezibot ist mit 50 mm Durchmesser sehr klein. Somit können auch mehrere Roboter auf einem Tisch laufen. Im Gegensatz zum Kilobot ist der Dezibot mit einem aktuellen Preis von 7,71€ ($8,59), welchen man durch die Tabelle 3 nachvollziehen kann, pro

Bausatz wirklich kostengünstig und kann über eine Kabelverbindung programmiert werden. Da der Roboter selber montiert werden muss, sollte der Dezibot vorzugsweise in höheren Klassenstufen eingesetzt werden. Aufgrund seiner Größe und seines Preises besteht aber die Möglichkeit, dass jeder Schüler sogar zwei Dezibots in Anspruch nehmen kann. Damit könnte die Kommunikation zwischen zwei Robotern geübt werden, sodass später eine Nutzung des erworbenen Wissens für eine Schwarmapplikation durch die gesamte Klasse denkbar wäre. Die Interaktion der Lernenden würde wertvolle Sozialkompetenzen fördern.

5 Auswertung

Besonders wichtig ist uns, dass jedes Kind einen eigenen Roboter zum Lernen besitzt. Dies lässt sich nur durch einen kostengünstigen Roboter realisieren. Ermöglicht wird das durch den Verzicht auf Getriebe oder Gelenke. Darüber hinaus ist es wichtig, dass der Roboter so klein ist, dass er sich gut auf einem Schultisch bewegen kann. Weiterhin sind die Kosten für die Programmierung zu beachten. Folglich sind besonders die Parameter Preis [RAN12; Ru13] und Bewegungsradius wichtig. Bei der Untersuchung der einzelnen Roboter ließ sich feststellen, dass sie sich in den für uns wichtigen Parametern stark unterscheiden.

Der AERobot eignet sich sowohl aufgrund seiner Größe als auch wegen seines Preises. Er ist einfach zu programmieren und besitzt einen integrierten USB-Anschluss. Leider haben unsere Testkäufe ergeben, dass der Roboter im Augenblick nicht hergestellt wird. Der Kilobot stellt eine viel kleinere Alternative zum AERobot dar. Jedoch ist der Kilobot deutlich teurer und benötigt aufgrund des Overhead-Controllers zu viel Platz. Der Dezibot entspricht den von uns gestellten Anforderungen, weil er klein und einfach ist. Aufgrund dessen, dass er als Bausatz erscheint, kann man neben dem Verständnis für die Software auch ein Verständnis für die elektronischen Komponenten gewinnen. Der Roboter ist so kostengünstig, dass jeder Lernende sogar zwei Roboter besitzen kann, wodurch sich die Möglichkeit der Kommunikation ergibt. Der Light-Tracking Bristlebot ist gut geeignet, um Elektronikkenntnisse zu erwerben, weswegen er sich eher für den Physik- als für den Informatikunterricht eignet. Wir sind der Auffassung, dass man den Roboter aufgrund der Steckplatte leicht durch einen Mikrocontroller erweitern und somit auch softwareprogrammierbar machen kann. Leider ist der Bausatz des Roboters viel zu teuer. Wegen ihres zu großen Platzbedarfs empfehlen wir keine Fahrroboter und bevorzugen deshalb Roboter mit Füßen. Damit hätte der Dezibot als einziger Roboter, der Füße besitzt, das Preisziel von $10 des AFRON Wettbewerbs 2012 erreicht und eignet sich deshalb am besten für Schuleinrichtungen, wobei wir den AERobot bei einer besseren Verfügbarkeit auch empfehlen würden.

6 Ausblick

Für alle Roboter besteht noch Optimierungspotenzial. An unserem Dezibot würden wir gerne noch einige kleine Veränderungen vornehmen, wie z.B. das Ersetzen der Batterien durch Akkus, wodurch der Roboter noch einmal minimal teurer wird, aber noch immer unter $10 kosten würde. Man könnte auch versuchen, die Vereinfachungen, die zwischen Kilobot und Dezibot bereits bestehen, auf den AERobot anzuwenden. Eine weitere Überlegung wäre es, den Roboter anstatt mit einer Infrarot- mit einer Funkschnittstelle auszustatten.

Wir sind der Überzeugung, dass sich die Robotik als Kulturtechnik etabliert, weil sie in der Zukunft alle Lebensbereiche des Menschen berühren wird, woraus sich ergibt, dass in Schulen deutlich mehr Roboter als heute eingesetzt werden. Deshalb müssen entsprechende Kompetenzen in der Schule über mehrere Jahre hinweg verstärkt im Mittelpunkt der Vermittlung stehen.

Literaturverzeichnis

[AF12] AFRON, http://robotics-africa.org/2012-design-challenge, 24.04.2017.

[As17] Asuro Wiki, http://www.asurowiki.de, 24.4.2017.

[Ei12] Eigner, Martin; Gerhardt, F.; Gilz, T.; Nem, F. M.: Informationstechnologie für Ingenieure, Springer-Verlag, 2012.

[El15] Elmenreich, W.; Heiden, B.; Reiner, B.; Zhevzhyk, S.: A low-cost robot for multi-robot experiments. 12th International IEEE Workshop on Intelligent Solutions in Embedded Systems (WISES), (S. 127-132), 2015.

[Gé17] Génération Robots, https://www.generationrobots.com/de/401426-kilobot-controller-board-k-team.html, 27.04.2017.

[GG04] Jan Grewe, Robin Gruber: ASURO Roboterbausatz, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, AREXX Engineering, Firmenschrift, 2004

[Hu14] Hunt, W.; McQuaid, R.; Sussman, J.; Tomko, E.: Introducing a Robotics Club in Albania, Report, Worcester Polytechnic Institute, 2014, 2017.

[Ka14] Karpelson, M., Waters, B. H.; Goldberg, B.; Mahoney, B.; Ozcan, O.; Baisch, A.; Meyitang, P.; Smith, J. R.; Wood, R. J.: A Wirelessly Powered, Biologically Inspired Ambulatory Microrobot, In Robotics and Automation, 2014 IEEE Internationale Conference on. IEEE, S.2384-2391, 2014

[Le04] Lehnert, Uwe: Der EDV-Trainer, Oldenbourg Verlag, München, 2004

[MI14] MIT News, http://news.mit.edu/2014/csail-teams-printable-robots-earn-first-place- in-ieee-competition, 24.04.2017.

[Os07] Oskiper, T.; Zhu, Z.; Samarasekera, S.; Kumar, R.; Visual odometry system using multiple stereo cameras and inertial measurement unit. In Computer Vision and Pattern

Recognition, CVPR'07. IEEE Conference on (S. 1-8). IEEE, 2007

[Pe15] Perez, S. R.; Gold-Veerkamp, C.; Abke, J.; Borgeest, K.: "A new didactic method for programming in C for freshmen students using LEGO mindstorms EV3." Interactive Collaborative Learning (ICL), 2015 International Conference on. IEEE, 2015.

[PS15] Pabani, H. S.; Shire, A. N.: Overview of Swarm Robotics. International Journal of Engineering Research and General Science Bd. 3 Nr. 1, S. 1029-1034, 2015

[Ri64] Ringelberg, J.: The positively phototactic reaction of Daphnia magna Straus: a contribution to the understanding of diurnal vertical migration. Netherlands Journal of Sea Research 2.3, S. 319-406, 1964.

[RAN12] Rubenstein, M.; Ahler, C.; Nagpal, R.: Kilobot: A low cost scalable robot system for collective behaviors. In Robotics and Automation (ICRA), 2012 IEEE International Conference on. IEEE, 2012.

[Ru13] Rubenstein, M.; Ahler, C.; Hoff, N.; Cabrera, A.; Nagpal, R.: Kilobot: A low cost robot with scalable operations designed for collective behaviors. Robotics and Autonomous Systems Nr. 7, S. 966-975, 2014

[Ru15] Rubenstein, M.; Cimino, B.; Nagpal, R.; Werfel, J.: AERobot: An affordable one-robot-per-student system for early robotics education. Robotics and Automation (ICRA), 2015 IEEE International Conference on. IEEE, 2015

[Sä11] Sächsische Staatsministerium für Kultus: Lehrplan Gymnasium Informatik, 2011

[SB16a] Science Buddies, http://www.sciencebuddies.org/science-fair-projects/project_ideas/Robotics_p012.shtml, 24.04.2017.

[SB16b] Science Buddies, https://store.sciencebuddies.org/advanced-bristlebot-kit.html, 24.04.2017.

[Se17] SEG MIT's Origami Inspired Segway Robot http://people.csail.mit.edu/cagdas/tmp AFRON/SEG/SEG__MITs_Origami_Inspired_Submission.html, 05.05.2017.

[Sl12] Slice of MIT, https://slice.mit.edu/2012/12/03/everythings-coming-up-robots-at- mit-videos/, 24.04.2017.

[SNS11] Siegwart, R.; Nourbakhsh, I. R.; Scaramuzza, D.: Introduction to Autonomous Mobile Robots, The MIT Press, 2011.

[Sp14] Spectrum.ieee, http://spectrum.ieee.org/automaton/robotics/diy/20-robot-mit-wins-afron-design-challenge, 24.04.2017.

[Te16] Deutsche Telekom Stiftung: Junior Engineer Academy, Engineering education in cooperation with European Partner Schools, Firmenschrift, 2016.

[Th17] The MIT SEG: An Origami-Inspired Segway Robot, https://sites.google.com/site/mitprintablerobots/home, 24.04.2017.

[Tu07] Turgut, A. E.; Gökçe, F.; Celikkanat, H.; Bayındır, L.; Şahin, E.: Kobot: A mobile robot designed specifically for swarm robotics research, 2007

[Xi12] Xinchejian, https://wiki.xinchejian.com/wiki/Xinchejian_Shanghai_Hackerspace_AFRON_$10_Competition_submission, 05.05.2017

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 2473

Declarative Cloud Resource Provisioning Using OCCI Models

Johannes Erbel[1]

Abstract: Great competition in providing cloud services has built a huge diversity in ways to manage the rented computing resources. This diversity has led to the provider lock-in problem, i.e., binding the customer to one provider. Moreover, the increasing need for quick and easy infrastructure provisioning requires for an automated and parallel provisioning process, as it is a cumbersome process when done manually. To tackle these needs, we propose a standard conform cloud resource provisioning process which is able to deploy declarative models based on the Open Cloud Computing Interface (OCCI) standard. Therefore, a provisioning plan is generated, defining the resource provisioning order, followed by a systematic execution of it. In order to show the feasibility of this approach, we implemented a prototype and discuss it with the help of an example topology.

Keywords: Cloud Computing, Open Cloud Computing Interface, Model Driven Engineering.

1 Introduction

Cloud computing enables the user to dynamically rent computing resources on demand. Hereby, the way of managing such resources is provider dependent, leaving consumers vulnerable to a *provider lock-in* [Ar10], i.e., making it hard to switch the provider once a cloud application is build. Meanwhile, many different standards have been developed tackling this problem by focusing on different quality attributes. One of these standards is the *Open Cloud Computing Interface (OCCI)* [OG16a], developed by the *Open Grid Forum (OGF)*, which exposes an interface to easily manage cloud resources over *Representational State Transfer (REST)* calls. OCCI defines a metamodel capable of describing the infrastructure of cloud applications. By deriving the required REST calls directly from the model elements, the provisioning process can be automated saving a large amount of time, especially when it comes to large infrastructures. Nevertheless, these models only depict declarative states of cloud applications and do not consider the order in which the resources have to be provisioned and linked. To address this issue, we propose a model driven approach to implement a fully automatic and standard conform cloud resource provisioning process, able to extract the required provisioning order from the OCCI model. Therefore, we perform multiple model transformations to generate a model to describe the order in which the resources have to be provisioned. The proposed approach serves as the provisioning process

[1] University of Goettingen, Institute of Computer Science, Goldschmidtstraße 7, 37077 Goettingen, j.erbel@stud.uni-goettingen.de

doi:10.18420/in2017_251

used in scope of a model driven cloud orchestrator which we conceptually introduced in [GEG17]. Here we utilize the *Topology and Orchestration Specification for Cloud Applications (TOSCA)* [OA13], another cloud standard, and its benefits regarding the portability of topology models. The OCCI topology models used in the proposed provisioning process originate from these TOSCA models, which we transformed beforehand. In future work, this approach will be enhanced with the capability to dynamically adapt a cloud system according to changing environments and requirements. Therefore, we establish a feed back loop between the system and the OCCI topology model. In this paper we investigate how the dependencies of these topology models can be resolved in order to create a provisioning plan, and how this plan can be executed to allow for an automatic provisioning of cloud infrastructures.

In the following, the outline of this paper is given. Section 2 introduces the foundations required to understand the provisioning process. Hereby, the basics of modeling, OCCI and workflow languages are covered. Section 3 describes the cloud resource provisioning process, examining the generation of provisioning plans and their execution. Section 4 describes the provisioning process of an example infrastructure in order to test the feasibility of this approach. Section 5 covers related work delimiting our approach to similar ones. Finally, Section 6 sums up the outcome of the proposed provisioning process and gives a short outlook into future work.

2 Foundations

In this section, fundamental knowledge, required to understand the provisioning process, is introduced. Section 2.1 defines the foundations and benefits of Model Driven Engineering (MDE). Section 2.2 examines the basics of the OCCI standard covering a precise description of its metamodel. Section 2.3 provides a brief overview of workflow languages and their typical elements.

2.1 Model Driven Engineering

Compared to the widely used object oriented development paradigm, where “everything is an object” [Bé04], the *Model Driven Engineering (MDE)* paradigm assumes that “everything is a *model*” [Bé04]. These models are defined by Kühne as “an abstraction of a (real or language-based) system allowing predictions or inferences to be made” [Kü06]. Overall, models represent not only a way to provide an abstract view on a complex system, but also store valuable system information which can be processed. *Metamodels* define the semantics and structure of a model by specifying elements a model can instantiate [OM11b]. Each model is “an instance of a metamodel” [OM11b], which can be seen as “a model of models” [OM03]. For example, a metamodel able to instantiate multiple kinds of cars has the elements seat, motor and wheels. Hereby, the metamodel does not only describe the

attributes of the element, for example a seat's color, but also the relationships of the elements, for example a car has two to six seats. Summed up, metamodels define a language for models. Based upon metamodels, model transformations are defined to "develop, maintain and evolve software" [MVG06], building the fundamentals of MDE [Kü06]. A complete definition of model transformation is given by Kleppe et al.: "A *transformation* is the automatic generation of a target model from a source model, according to a transformation definition. A *transformation definition* is a set of transformation rules that together describe how a model in the source language can be transformed into a model in the target language. A *transformation rule* is a description of how one or more constructs in the source language can be transformed into one or more constructs in the target language" [KWB03]. In the following, we discuss the OCCI standard and its metamodel, which defines the language of the models used as input for the provisioning process.

2.2 Open Cloud Computing Interface

OCCI is a standard developed to uniformly access and manage cloud resources [OG16a]. Even though OCCI was originally created for an *Infrastructure as a Service (IaaS)* purpose, it has evolved to an *Application Programming Interface (API)* able to handle *Platform as a Service (PaaS)* and *Software as a Service (SaaS)* as well. The OCCI standard focuses on interoperability and extendability. To perform management activities, OCCI provides a RESTful protocol and API. Hereby, the information required to perform management REST calls can be derived from the elements in the OCCI model. These models instantiate the OCCI core metamodel [OG16a], which is depicted in Figure 1. The OCCI standard only provides the specification of the metamodel which got implemented by Merle et al. [Me15]. This metamodel can be separated into two different parts describing the *core base types* and the *classification and identification mechanisms*.

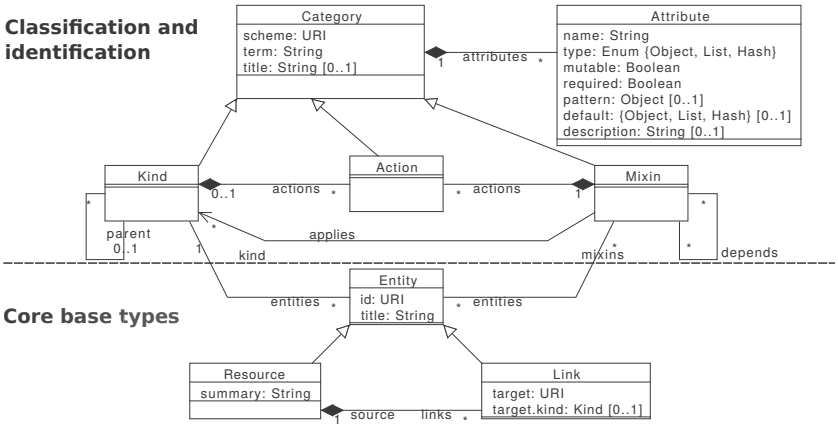


Fig. 1: Overview of the OCCI core metamodel adapted from [OG16a].

Elements considering the core base types are Entity, Resource and Link. The element Resource represent resources from the real world, for example a *virtual machine (VM)*, storage or network. The connection between those is modeled via the Link element storing information about the source and the target Resource. Both of these elements inherit from the abstract Entity type defining the id of the elements, which serves as *Uniform Resource Identifier (URI)*. Furthermore, the Entity element binds each Entity sub type to a unique Kind and stores information about related Mixins.

The classification and identification mechanisms are formed by the elements Category, Attribute, Kind, Action and Mixin. Category serves as a non abstract type identifying Kinds, Actions and Mixins, whereby the *term* and *scheme* attribute uniquely identifies them. Moreover, every instantiation of Category is able to define Attribute elements representing client readable attributes. Kinds represent the classifying element for Entity sub-types, indicating available Actions and Attributes to be filled by the Entity. Kinds are able to inherit other Kinds, whereby each Kind has to refer to one of the three core Kinds, equally named to the core base types Entity, Resource and Link. Mixins provide additional Attributes that can be added to instances at creation or run-time to completely classify Entity sub-types, complementing the Kind element. Summed up, Mixins represent an extension mechanism to model Entity sub-types in more detail. Finally, the Action element identifies operations that can be invoked on Entity instances of the corresponding Kind or Mixin.

One of the OCCI core metamodel extensions we use, is the OCCI infrastructure extension [OG16b], which extends the OCCI core metamodel for managing IaaS resources. Overall, this extension is composed of three Kinds describing Resources and two Kinds describing Links. The Kinds for Resources specify a Resource as Compute, Network or Storage, whereas NetworkInterface and StorageLink, the Link types, allow for additional attributes to specify connections between VMs, storages and networks. It should be noted that OCCI defines further extensions, for example to address the PaaS layer. Nevertheless, these are not further discussed due to missing implementations. In the following section, we introduce the concepts of workflow models, which we use to depict provisioning plans.

2.3 Workflow Modelling

In order to create an automated provisioning process based on a declarative model, a workflow model is required to specify the needed steps to be performed. Hereby, the workflow model does not only define the order in which the different operations have to be performed, but also which operations can be done in parallel [Br14]. Thus, we use workflow models to instantiate provisioning plans, whereby the low-level operations represent provisioning tasks and the control flow the order in which these operations are performed. Two of the more commonly known modeling languages used to create workflows are the *Business Process Model and Notation (BPMN)* [OM11a] and the *Unified Modeling Language (UML)* [OM11b] with its *activity diagrams*. To ease the understanding of workflows the activity diagram depicted in Figure 5 can be used as reference. Workflows

provide the capability to start complex tasks by modeling an initializing element, which starts a control flow. This flow can be directed to *control nodes*, manipulating the control flow, or *actions* performing a task of low complexity. Control nodes are able to *fork* incoming control flows into multiple ones, allowing for a parallel execution. Later in the process, every opened control flow is merged by a *join* control node. Moreover, control nodes are able to check if specific conditions are met to send the control flow onto one out of multiple possible paths. Actions are able to define input values, which store additional information required by the action. In the following section we discuss the cloud resource provisioning process making use of such workflow models as provisioning plan.

3 Resource Provisioning Process

To provide an automatic provision process, the dependencies between the elements, hidden in the OCCI model, must be resolved. To identify those, we separated the provisioning process into a plan generation and a resource provisioning step, as depicted in Figure 2. At first, in the plan generation step, multiple *model to model transformations (M2M)* are performed on the OCCI model to identify dependencies between the elements in the infrastructure. To perform these transformations, we adapted an approach by Breitenbücher et al. [Br14]. The first transformation transforms the OCCI model into a *Provisioning Order Graph (POG)*, describing the dependencies of the topology elements. Thereafter, this POG is transformed into a workflow model specifying a provisioning plan. In the second step, the resource provisioning, this workflow is traversed element by element by the Provisioner entity. The Provisioner is connected to an Extractor entity, able to gather topology model information, and an Executor entity, which performs the service calls to the OCCI API to actually provision resources. Section 3.1 contains an explanation of the performed transformations, while Section 3.2 investigates the processing of the provisioning plan.

3.1 Transformations

To generate a provisioning plan, we adapt an approach by Breitenbücher et al. [Br14], who combined declarative and imperative models to generate executable provisioning plans. In our approach, an OCCI model serves as the input topology model starting the transformation process. The POG is an instance of a simple directed graph metamodel comprising *vertices*, able to store an id of the corresponding OCCI element, and *directed edges*, linking vertices together. The used transformation rules are depicted in Table 1. For each Resource and Link in the OCCI model a vertex, storing their id, is created in the POG. Moreover, for every Link two edges are created in the POG. Based on the Kind of the Link the edges are connected to the vertices, representing the relationship partners of the Link, to describe a specific dependency. Overall, Breitenbücher et al. define two dependency patterns, which are mapped onto the different Kinds. The depends-on pattern and the uses pattern, which are depicted in Figure 3. A depends-on pattern describes a dependency, which requires the

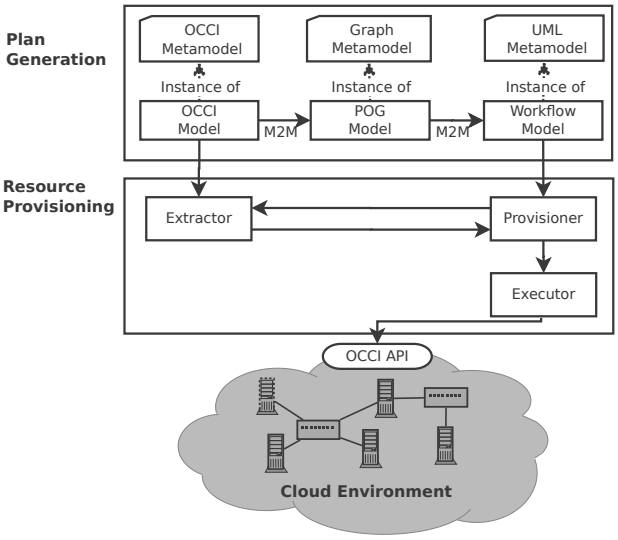


Fig. 2: Overview of the cloud resource provisioning process.

Source Resource of the Link to be instantiated before the Target Resource can be created, for example an execution environment which depends on a running VM. In this case the dependency resolves in a Target Resource → Link → Source Resource pattern. A use pattern characterizes a dependency, which requires the Source Resource as well as the Target Resource to be instantiated before they can be connected. For example when a VM is connected to a network both need to be provisioned beforehand. This dependency resolves in a Target Resource → Link and Source Resource → Link pattern.

OCCI	POG
Resource	Vertex
Link	Vertex
Link Kind	Use/Depends-on pattern

Tab. 1: Mapping of OCCI to POG elements.

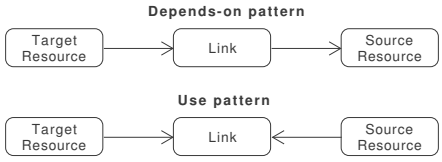


Fig. 3: Dependency pattern.

Based on this POG a second transformation is used to generate a workflow model in form of an UML activity diagram. This results in a provisioning plan which can be processed to provision and link the cloud resources in the correct order. At first, an initial node is created serving as starting point for the processing later on. Then, for each vertex in the POG an empty action is created only storing the id of the vertex, e.g. the id of the OCCI Entity sub-type. Every vertex without an incoming edge indicates that the Resource has no dependencies, allowing for an immediate and parallel provisioning. This immediate

parallelization is represented by a fork node, which splits the control flow into multiple ones. During the transformation process every vertex that is able to be provisioned is marked, so we can check whether the dependencies of other vertices are met. If an action has only one predecessor it is directly linked to it. Otherwise, a join is created combining the control flows of the required vertices before continuing the control flow. Finally, in a post processing step, every action without an outgoing edge is connected to a final join merging the control flow into the end node closing the workflow. In the following, we introduce the processing of provisioning plans, discussing how this workflow is traversed and how actual service calls are performed.

3.2 Provisioning Process

To automatically provision cloud resources, the generated provisioning plan is processed. At the beginning of the provisioning process, an authentication token is requested from the cloud to start a session, which is required to perform provisioning tasks. This token does not only indicate the user's credentials, but also the project in which the resources have to be provisioned. After the token is received, the Provisioner traverses the workflow starting at the initial node. From there on the control flow is followed to the next node, indicating a specific operation to be performed. The different nodes and operations are shown in Table 2.

Workflow Element	**Provisioning Action**
Initial	Starting point
Action	Extract OCCI Element Execute REST call Wait for active state
Fork	Start threads for outgoing control flows
Join	Wait for incoming control flows to join

Tab. 2: Processing of workflow elements.

Overall, the Provisioner considers actions and two different kinds of control flow nodes, which are forks allowing for a parallel execution of the workflow and join nodes merging these later on. When the Provisioner reaches a fork node, a thread is created for every outgoing edge of the fork. Each thread starts another instance of a Provisioner responsible for processing one control flow of the fork, starting with one of the following nodes as initial start point. Hereby, the threads handle every upcoming node on its control flow path until a join is reached. When a control flow reaches a join, it is checked if all incoming control flows already reached it. The last incoming thread continues to process the control flow after the join. It should be noted, that not only actions, but also fork nodes can be directly connected to a join. When the Provisioner reaches an action, operations to provision cloud resources are performed. Therefore, a REST request is send to the OCCI API of the cloud,

which contains the information about the OCCI element to be provisioned. To gain the information about this element, the Provisioner passes the id stored within the action to the Extractor. The Extractor searches the OCCI topology model for the element with the corresponding id and returns it to the Provisioner. This element in turn is handed over to the Executor, which establishes a connection to the OCCI API and performs the REST request. In case of a cloud resource provisioning task, a POST request is performed. Depending on the Kind of the OCCI element, the connection is established to a specific URI. For example, if a Compute instance has to be provisioned, the POST request is send to the cloud's address followed by /occi1.1/compute/. Depending on the rendering used by the OCCI API, the information of the OCCI element are either added as header or as input to the REST request. When the text rendering [OG16c] is used, the information is passed over request headers. These are separated into a *Category header* and an *Attribute header*. The Category header contains the OCCI Category elements connected to the element to be provisioned, e.g. Kind and Mixins of the element. The Attribute header stores the element's attributes and their values. After a successful provisioning request, the actual id of the provisioned element is received. Before another action on the same control flow is allowed to be performed, the Provisioner waits until the provisioned resource is in an active or online state. This ensures that the resources are ready to be further adjusted and linked. In the following section the feasibility of this approach is discussed.

4 Feasability Study

To discuss the feasibility of the proposed cloud provisioning process, we implemented a prototype, which is discussed in this section with the help of an example OCCI topology model. Due to a missing implementation of the OCCI PaaS extension, we provide an example only considering the IaaS layer. In Section 4.1, the utilized tools and systems are discussed. Section 4.2 describes the example topology model, the generated plans and the corresponding REST calls. Finally Section 4.3, gives a short discussion about the feasibility of the proposed approach.

4.1 Tooling

As for the plan generation, we use the *Eclipse Modeling Framework (EMF)* [St08] and the *Epsilon Transformation Language (ETL)* [Ep14]. To instantiate the OCCI model, we use the EMF based OCCI metamodel proposed by Merle et al. [Me15]. For the POG, we created a simple directed graph metamodel. Finally, the UML [OM11b] metamodel is used to instantiate activity diagrams as workflow model. The provisioning process itself is implemented in Java. The infrastructure is provisioned on an *OpenStack* [Op16] cloud of our research group, which uses the *OpenStack OCCI Interface (OOI)* [In15], an implementation of OCCI for OpenStack.

4.2 Example Topology

In the following we investigate the process of provisioning a simple cloud infrastructure described by an OCCI model. The infrastructure is composed of two VMs, which are both connected to a network. Furthermore, one of these VMs is attached to a storage device. This infrastructure is translated into an OCCI model, which is depicted in Figure 4 by an UML object diagram.

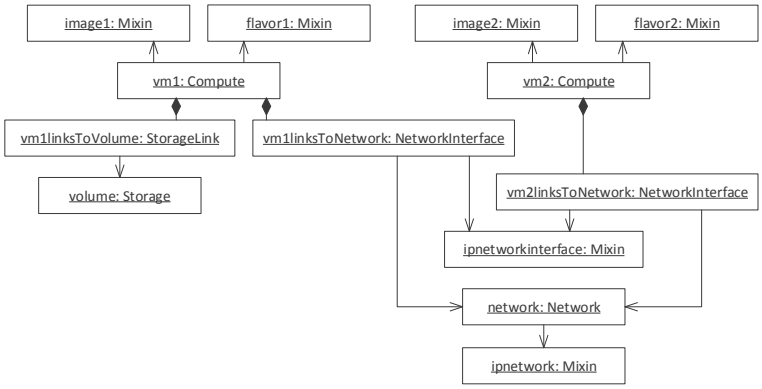


Fig. 4: Example OCCI cloud infrastructure model [GEG17].

This diagram shows that the two VMs, vm1 and vm2, are represented by two Compute type Resources, the network network by a Network type Resource and the storage volume by a Storage type Resource. The Mixins bound to the Compute types define the *flavor* and the *image* of the VM. The flavor encodes the cores, memory and storage capacity of the VM, while the image defines its operating system. Both VMs are connected to the network over NetworkInterface type Links, further defined by a Mixin called Ipnetworkinterface, which allows for a specific ip address to be defined [OG16b]. The network itself is connected to a Mixin called Ipnetwork to define an address range and gateway for the network [OG16b]. Finally, vm1 is connected to volume over a StorageLink, defining the device id and mountpoint of the Storage [OG16b]. This model serves as input topology for the provisioning process, which is discussed in the following.

Figure 5 shows the results of the plan generation phase, with the POG on the left and the resulting activity diagram on the right. The POG shows that vm1, vm2, volume and network need to be provisioned before corresponding connections can take place. These kinds of relationships result from the use pattern, which is associated with all the IaaS Kinds of OCCI. Therefore, the depends-on pattern is not observed in this example, because it can only be mapped to Kinds of the OCCI PaaS extension. Based on the POG, the provisioning plan, depicted on the right side of Figure 5, is generated. The initial point starts the control flow, which is immediately followed by a fork parallelizing the provisioning process of the vertices without incoming edges in the POG, e.g. vm1, vm2, network and volume. Because

vm1 and network are required for multiple actions, a fork splits up their control flow to mark the action as finished for both of the following joins. In the POG, vm2 and volume only posses one edge, resulting in a direct connection to the following action. Because the following actions have multiple incoming edges, a join is created to merge the incoming control flows before the next action is performed. Finally, a join merges every activity, which has no outgoing edge at the end of the transformation. This join is connected to the final node of the provisioning plan closing the workflow.

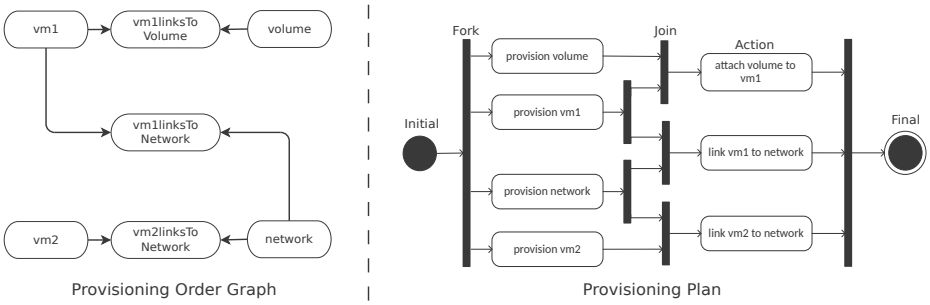


Fig. 5: Example Provisioning Order Graph and Workflow Model.

To provision cloud resources, REST requests are send to the OOI interface of the OpenStack cloud. The required information for this requests is gathered from the elements in the OCCI model. To provide an in depth view of how an OCCI element can be provisioned, Figure 6 shows the vm1 element in all of its details and the REST call build upon it. To create a VM, a POST request to the address of the provider, using the port of the OOI interface, is send. The session used for this request is stated by an authentication token in the *X-Auth-Token header*. Furthermore, the content type of the request must be set to text/occi. The information about the element are added to the Category- and Attribute header as defined in the OCCI text rendering documentation [OG16c]. In this case, vm1 is a Compute type with two Mixins resource and os. These Mixins, uniquely identified by their term, describe the image and flavor of the VM. Therefore, the element vm1 is created as an Ubuntu 16.04 server of size m1.medium. The attributes of the element are inserted into the *X-OCCI-Attributes header* giving additional information about the VM, for example the title, id or state. Summed up, in order to provision a cloud resource over an OCCI REST request, the information about the model element is simply added to the correct header, highlighting the simplicity of OCCI when it comes to resource provisioning.

4.3 Discussion

Our feasibility study indicates that we are able to automatically provision OCCI topology models with our approach. Even though the proposed example represents only a small example infrastructure, we want to emphasize that this approach is also feasible when it



Fig. 6: Compute resource vm1 with the corresponding REST request.

comes to larger infrastructures, because every provisioning plan generated from an OCCI model, only respecting the current IaaS extension, results in the same pattern. This pattern consists of two parts. The resource provisioning part, where each Compute, Storage and Network instance is provisioned in parallel and the part in which these Resources are linked. Other patterns can currently not occur, because every Resource to be provisioned is completely independent from one another. This is because all Kinds for Links of the OCCI IaaS extension have to be mapped to the use pattern of Breitenbücher et al. [Br14]. Therefore, no Resource can have any incoming edges in the POG, which results in the parallel resource provisioning part of the provisioning plan. The linking part of the provisioning plan arises, because every Link depends on the two Resources it connects, which are already build up to this point. A detailed evaluation of this approach is necessary when the PaaS extension of OCCI is taken into account or the IaaS extension is modified, due to the occurrence of the depends-on pattern.

5 Related Work

In addition to OCCI, other standards defining metamodels for cloud topologies exist. One of them is TOSCA [OA13], a standard by the *Organization for the Advancement of Structured Information Standards (OASIS)*, which is able to provider-independently describe cloud applications. In the approach by Breitenbücher et al. [Br14] TOSCA topology models are used to generate provisioning plans. Compared to OCCI, TOSCA models are meant to be stored and reused later on, to increase the portability and reusability of cloud applications in order to prevent the provider lock-in. Nevertheless, TOSCA does not define how actual resources can be provisioned over API calls, making it unsuitable for actual resource provisioning. In a conference paper [GEG17] we investigated, how TOSCA models can be transformed into OCCI models to address this issue and to utilize the benefits of both

standards. Another approach to perform model driven resource provisioning is proposed by Ferry et al. [Fe14], who introduce a models at runtime approach, able to not only provision resources, but also adapt existing cloud applications. Therefore, they define a domain-specific modeling language called *CloudML*. In contrast to our approach, their approach is not standard driven and hence does not address the provider lock-in problem.

6 Conclusion

In this paper we proposed a model driven approach to automatically provision cloud infrastructures based on OCCI topology models. To this aim, we generated a provisioning plan to indicate the order in which the resources have to be provisioned and linked. Based on the actions determined in this plan, we performed REST requests to provision and link the corresponding OCCI elements on the cloud. Hereby, we extracted the required information directly from the topology model. To test the feasibility of this approach, we implemented a prototype able to provision cloud infrastructures, whereby we discussed one example in more detail. In scope of future work, this provisioning engine represents one of the first steps to build a complete model driven cloud orchestrator. Therefore, we will extend this engine by adding the capability to adapt cloud infrastructures at runtime by establishing a feedback loop between the system and the model. Herewith, we introduce the possibility to react to changing requirements or environments. Furthermore, we will evaluate the feasibility of this approach to handle OCCI models using the OCCI PaaS extension. Summed up, we proposed an automatic and standard conform cloud resource provisioning process, based upon a declarative OCCI model, which is able to provision complete infrastructures and offers the possibility to be enhanced to handle complete cloud applications.

References

[Ar10] Armbrust, Michael; Fox, Armando; Griffith, Rean; Joseph, Anthony D; Katz, Randy; Konwinski, Andy; Lee, Gunho; Patterson, David; Rabkin, Ariel; Stoica, Ion et al.: A view of cloud computing. Communications of the ACM, 53(4):50–58, 2010.

[Bé04] Bézivin, Jean: In search of a basic principle for model driven engineering. Novatica Journal, Special Issue, 5(2):21–24, 2004.

[Br14] Breitenbücher, Uwe; Binz, Tobias; Képes, Kálmán; Kopp, Oliver; Leymann, Frank; Wettinger, Johannes: Combining declarative and imperative cloud application provisioning based on TOSCA. In: Cloud Engineering (IC2E), 2014 IEEE International Conference on. IEEE, pp. 87–96, 2014.

[Ep14] Epsilon Transformation Language Documentation, Available online: `http://www.eclipse.org/epsilon/doc/etl/`, 15.06.2017.

[Fe14] Ferry, Nicolas; Brataas, Gunnar; Rossini, Alessandro; Chauvel, Franck; Solberg, Arnor: Towards Bridging the Gap Between Scalability and Elasticity. In: CLOSER. pp. 746–751, 2014.

[GEG17] Glaser, F.; Erbel, J.; Grabowski, J.: Standard and Model Driven Cloud Orchestration by Combining TOSCA and OCCI. In: Proceedings of the 7th International Conference on Cloud Computing and Services Science. CLOSER, 2017.

[In15] OpenStack OCCI Interface, Available online: http://ooi.readthedocs.io/en/stable/, 15.06.2017.

[Kü06] Kühne, Thomas: Matters of (meta-) modeling. Software & Systems Modeling, 5(4):369–385, 2006.

[KWB03] Kleppe, Anneke G; Warmer, Jos B; Bast, Wim: MDA explained: the model driven architecture: practice and promise. Addison-Wesley Professional, 2003.

[Me15] Merle, Philippe; Barais, Olivier; Parpaillon, Jean; Plouzeau, Noël; Tata, Samir: A precise metamodel for open cloud computing interface. In: Cloud Computing (CLOUD), 2015 IEEE 8th International Conference on. IEEE, pp. 852–859, 2015.

[MVG06] Mens, Tom; Van Gorp, Pieter: A taxonomy of model transformation. Electronic Notes in Theoretical Computer Science, 152:125–142, 2006.

[OA13] OASIS: Topology and Orchestration Specification for Cloud Applications Version 1.0, Available online: http://docs.oasis-open.org/tosca/TOSCA/v1.0/os/TOSCA-v1.0-os.html, 15.06.2017.

[OG16a] OGF: Open Cloud Computing Interface - Core, Available online: https://www.ogf.org/documents/GFD.221.pdf, 15.06.2017.

[OG16b] OGF: Open Cloud Computing Interface - Infrastructure. OGF, Available online: https://www.ogf.org/documents/GFD.224.pdf, 15.06.2017.

[OG16c] OGF: Open Cloud Computing Interface - Text Rendering. OGF, Available online: https://www.ogf.org/documents/GFD.224.pdf, 15.06.2017.

[OM03] OMG: MDA Guide Version 1.0.1, Available online: http://www.omg.org/news/meetings/workshops/UML_2003_Manual/00-2_MDA_Guide_v1.0.1.pdf, 15.06.2017.

[OM11a] OMG: Business Process Model and Notation, Available online: http://www.omg.org/spec/BPMN/2.0/PDF, 15.06.2017.

[OM11b] OMG: Unified Modeling Language Infrastructure Specification, Available online: http://www.omg.org/spec/UML/2.4.1/Infrastructure/PDF, 15.06.2017.

[Op16] OpenStack Newton, Available online: https://releases.openstack.org/newton/, 15.06.2017.

[St08] Steinberg, Dave; Budinsky, Frank; Merks, Ed; Paternostro, Marcelo: EMF: eclipse modeling framework. Pearson Education, 2008.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 2487

Serving Live Multimedia for the Linked Open Data Cloud

Sebastian Serth, Stephan Haarmann and Lukas Faber[1]

Abstract: DBpedia is a community-driven project to extract semantic data from Wikipedia articles. It publishes the results as RDF data in the Linked Open Data Cloud. With DBpedia Live, the community enabled live updates of linked data using the OAI-PMH protocol to receive and process changes on Wikipedia. The MediaWiki foundation discontinued their support for OAI-PMH in March 2016 causing DBpedia Live to no longer receive live updates. In this work, we use RCStream, the new MediaWiki protocol to notify other systems of changes, to re-enable live updates in DBpedia Live. Currently, users need to consume two DBpedia resources to access general information and multimedia files about one entity. On the one hand DBpedia holds the structured information. On the other DBpedia Commons holds most multimedia information. We improve the integration of multimedia data into DBpedia by introducing a new extractor to the DBpedia Extraction Framework that extracts most multimedia data from a Wikipedia page. Additionally, we present two further extractors that link pages in DBpedia with pages in DBpedia Commons and vice versa. All our changes are available in the DBpedia Extraction Framework and in use, e.g. for DBpedia Live.

Keywords: Linked Data, DBpedia Live, DBpedia Commons, Wikipedia, Wikimedia Commons

1 Introduction

The Linked Open Data Cloud (LODC) is a set of data providers in the World Wide Web. Their data is publicly available for use to everyone and usually contains references to other Linked Open Data sources. DBpedia is one of the key providers of such data [Le15]. It extracts structured information from three dozen language versions of Wikipedia and publishes it as semantic data in RDF format. Wikipedia itself is the largest online encyclopaedia and the fifth most visited page on the internet[2]. It contains about 44.1 Million pages in over 100 languages and its users edit articles approximately 10.8 Million times a month[3]. To keep up with the fast-changing data on Wikipedia the community of DBpedia created DBpedia Live. This uses a technology called *Open Archives Initiative Protocol for Metadata Harvesting* (OAI-PMH) [Op15] to synchronize through a local MediaWiki mirror with Wikipedia. DBpedia Live receives events when pages on Wikipedia change and extracts these pages again. In March 2016, the Wikimedia foundation discontinued their support

[1] Hasso Plattner Institute, University of Potsdam, Prof.-Dr.-Helmert-Str. 2-3, 14482 Potsdam, Germany
{sebastian.serth, stephan.haarmann, lukas.faber}@student.hpi.de

[2] http://www.alexa.com/topsites — Alexa rank on the most visited pages on the internet

[3] https://stats.wikimedia.org/EN/TablesWikipediaZZ.htm — Statistics on Wikipedia as of March 2017

doi:10.18420/in2017_252

of OAI-PMH meaning that DBpedia Live can no longer receive notifications of changes this way. Instead, the Wikimedia foundation offers a technology called *Recent Changes Stream* (RCStream) [Me16b]. In this work, we integrate RCStream into DBpedia Live to make it aware of changes on Wikipedia. This change allows a simplification of the architecture of the DBpedia Live system and does not require the local MediaWiki mirror any longer. Even when running live, DBpedia Live hardly contains multimedia data that the equivalent Wikipedia article does contain. DBpedia Commons [Va15] is a DBpedia instance that stores multimedia data while the other instances focus on textual data. The stored multimedia files are retrieved from Wikimedia Commons. In the current state, corresponding resources on DBpedia Commons and other DBpedia instances do not link to each other. Thus, consumers of both resources have to connect these resources on their own. Our goal was to ease the exploration of corresponding multimedia files with a Creative Commons license. Therefore, we show two ways to create connections between DBpedia Commons and other DBpedia instances. First, we link the corresponding resources on both systems with each other. Second, when extracting a Wikipedia page we also extract most multimedia files and link the equivalent DBpedia Commons resources for those.

Our source code containing the proposed changes has been merged with the open-source DBpedia Extraction Framework[4] and in use today to run DBpedia Live with additional support for the enhanced linkage between DBpedia Live and DBpedia Commons.

In section 2 we introduce how existing work led to DBpedia Live and DBpedia Commons. We present the changes required when switching from OAI-PMH to RCStream in section 3 and show our approach to link semantic resources of DBpedia and DBpedia Commons in section 4. We create links between correlating resources (e.g., between `http://dbpedia.org/resource/Eurasian_blue_tit` and `http://commons.dbpedia.org/resource/Cyanistes_caeruleus`). Additionally, we directly link the media resources in DBpedia Commons to the resource in DBpedia. In section 5 we examine the performance and the extracted triples together with the benefits and shortcomings of the solution. Section 6 summarizes the results of our work and shows paths for future development.

2 Related Work

DBpedia has been initiated eleven years ago in 2006 [AL07]. Lehmann and others [Le15] summarize the development that has been done in the nine years until 2015. In this section, we focus on work regarding DBpedia Live and the inclusion of multimedia data.

Suh and others extract “Common Sense Knowledge” from Wikipedia texts using natural language processing and they publish the information as RDF data [SHK06]. Conversely, Auer and others extract semantic data from structured information in Wikipedia [AL07]. Based on this work, Auer and others [Au07] introduce the DBpedia as a storage of semantic

[4] `https://github.com/dbpedia/extraction-framework` — DBpedia Extraction Framework with our changes

information from Wikipedia. They acquire the pages containing the information by parsing the periodically created Wikipedia dumps. Thus, the DBpedia instance created on this dump is partly outdated and misses further changes made to Wikipedia [He09]. Hellmann and others use OAI-PMH to receive change events from Wikipedia and process them to create DBpedia Live. Morsey and others refine the Extraction Framework by adding a tool to continuously import new change sets, additional extractors and more [Mo12].

Garcia and others propose a solution to extend the data from DBpedia with multimedia content. They use machine learning and search engines to find relevant media on the web [Ga11]. Vaidya and others instead focus on images that have been associated by humans to Wikipedia topics leveraging the media from Wikimedia Commons [Va15]. They extend the Extraction Framework with new extractors that are capable of extracting multimedia data from Wikimedia Commons and publish the result to DBpedia Commons. If consumers require the multimedia data used on a Wikipedia page, they need to link the related DBpedia resource to their equivalent on DBpedia Commons by themselves. Kontokastas and other combine information of different DBpedia instances [Ko12] and create links between different language versions but not to DBpedia Commons, which is our motivation to ease access to multimedia information and their meta data.

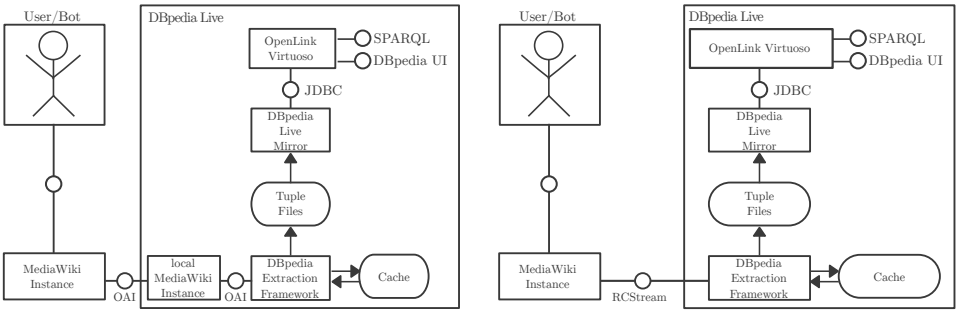
OAI-PMH was developed by the Open Archives Initiative [Op15] and is used in a variety of use cases to exchange metadata[5]. The Wikimedia Foundation discontinued their usage of OAI-PMH. It developed their own technology called RCStream [Me16b] specifically for notifying subscribers of changes in a MediaWiki instance.

3 Method and Approach to Make DBpedia Live Again

We integrate our RCStream-based solution into the current DBpedia Live architecture, which is depicted in Figure 1a (see also [He09]). An OAI-PMH event notifies the DBpedia Live system, whenever a user or a bot makes changes. OAI-PMH includes the whole content of the changed wiki page in the event thus creating a high load on the MediaWiki instance. Therefore, DBpedia Live contains an additional local mirror of that specific MediaWiki that forwards events to the DBpedia Extraction Framework. It then extracts structured information from the page content and creates a so called changeset in the form of triple files. The changeset contains the triples which need to be added or deleted in the RDF storage (OpenLink Virtuoso). An additional program, the DBpedia Live mirror[6], loads these triples and imports them into Virtuoso.

The DBpedia Extraction Framework contains a set of components that trigger the live extraction of pages in the Wikipedia. These components are called “feeders”. One example for such a feeder is the `OAIFeeder` that listens for changed pages on Wikipedia using OAI-PMH. All feeders publish their events to an intermediate internal queue. From there, page

[5] `http://www.openarchives.org/Register/BrowseSites/` — A repository of OAI data providers
[6] `https://github.com/dbpedia/dbpedia-live-mirror` — source for the DBpedia Live mirror



(a) A FMC model describing the architecture of the Extraction Framework using OAI-PMH

(b) A FMC model describing the architecture of the Extraction Framework using RCStream

Fig. 1: The high-level architecture of the extraction framework

processors take pages and process them. If a feeder did not add the wiki page content to it, the processor first uses the MediaWiki API to query it. Then, the page content is given to several mutually independent components, so called "Extractors". Every extractor can use the content of the whole page to extract triples, for example the `AbstractExtractorWikipedia` extracts the abstract of a wiki text. The processor then collects all triples of all extractors. If the page has been extracted before, the Extraction Framework compares the produced triples with those of the previous extraction by using a cache. Based on the comparison, it creates a minimal set of changes needed to update the triple store to the current data.

3.1 RCStream Integration

Recent versions of MediaWiki switched their update mechanism from OAI-PMH to RCStream, a new technology that provides notifications about events (such as editing a page). One can subscribe to the RCStream of a MediaWiki instance by establishing a socket connection. All future events are broadcasted to each subscriber through their individual connection. An RCStream event is a JSON object whose content describes meta data about the change as well as the page on which the event occurred [Me16b].

Our RCStream based solution integrates as a feeder component called `RCStreamFeeder` with the Extraction Framework. It establishes a socket connection to the MediaWiki instance and feeds incoming events into the internal queue of the Live Extraction Framework. In contrast to OAI-PMH, events from RCStreams do not contain the page content but only the title of the changed page. Consequently, the Extraction Framework queries the page content at a later step in the process. Amongst others, an RCStream event contains the attribute *type*, whose value encodes the cause for the event. For our case, only events of type *edit* (a page has been modified) or *new* (a new page has been created) are relevant. In addition, only a small subset of the received `namespaces` are relevant, which differs on the MediaWiki

instance (for example the "File" namespace is relevant for Wikimedia Commons but not for any other Wikipedia instance) Based on these attributes we can filter events before processing them, thus reducing network traffic and increasing performance significantly.

The use of RCStream allows an architectural simplification of the DBpedia Live system. Figure 1b gives an overview of the architecture of the Extraction Framework using RCStream. RCStreams produce far less load on the MediaWiki instance compared to OAI-PMH, because the events do not contain the page content. Because of that, the additional MediaWiki mirror is no longer required. However, the Extraction Framework has to use the MediaWiki API to query the page content later in the process.

3.2 AllPagesFeeder

When running DBpedia Live, it is important to keep the triple store synchronised with the internal cache, which is used to create the changesets, at all times. The triple store also needs to be synchronised with the MediaWiki instance. This poses problems when creating a new DBpedia Live instance. Currently, there are two ways to create a new instance of DBpedia Live. First, one can start an instance with a dump based extraction using the DBpedia Extraction Framework. However, this process only updates the triple store but not the live cache. This can lead to inconsistencies like duplicated triples with contradicting values. Nor does this approach take changes into account that happened after the creation of the dump. Second, one can start with an empty graph and only insert the triples of pages for which the Extraction Framework received an event and produced triples for. This keeps the live cache and the triple store synchronised, but the triple store misses all pages that have never been edited. We propose the `AllPagesFeeder` uses the MediaWiki API to retrieve the names of all pages for a specifiable set of namespaces and puts all page titles in the queue for extraction. As a result, every page of the specified namespaces gets extracted (and not only those which have been edited), putting the information in both the triple store and the cache. In addition, the `AllPagesFeeder` might also be used to re-sync a DBpedia instance after an outage or connection loss. This is required because RCStreams do not store any state for their connections and thus do not offer any way to retrieve changes during a downtime.

4 Extracting and Linking Multimedia Data

The current extraction for a Wikipedia page is limited to one image which is extracted by the `ImageExtractor`. It parses the wiki page to find the first image and determines if the file also exists on Wikimedia Commons. To do so, it tests if the image is not present in a local image dump for the specified Wikipedia instance. This check determines the usage rights for that image – files on Wikimedia Commons are licensed under Creative Commons or a public domain licence. In contrast, files that are stored on Wikipedia have non-free usage rights. Either way the image is added to the extraction as a thumbnail. We see five

drawbacks in this approach: a) No link to a possible corresponding resource in DBpedia Commons is extracted. b) The image extraction uses an image dump, which can become outdated. c) The extraction might add images that are non-free images. This could lead to copyright infringement. d) Only the first image of a Wikipedia page is extracted. e) Audio and video files are ignored.

4.1 Extracting Multimedia files from an Wikipedia Article

We introduce the `MediaExtractor` to extract multimedia information from pages on Wikipedia and include them in DBpedia. The DBpedia Extraction Framework parses the Wikipedia page content given in wiki markup and constructs a tree structure out of it. This structure is given to all extractors. In a first step the `MediaExtractor` extracts file names out of this tree structure. Files can be embedded with specific templates or within galleries. The `MediaExtractor` parses the respective markup and extracts the file information.

Second, the `MediaExtractor` checks for every file if an equivalent file exists on Wikimedia Commons. An equivalent file can be found under the same URL as on Wikipedia if one replaces `en.wikipedia.org` (in case of the English Wikipedia) with `commons.wikimedia.org`. Files not located on Wikimedia Commons are often not free and therefore discarded.

In a third step the `MediaExtractor` generates triples for every file that it finds on Wikimedia Commons with the newly introduced property `dbo:mediaItem`. The object of the triple is the URI of the file resource in DBpedia Commons. For every image file (ending in .svg, .jpeg, .jpg, .png, .gif), the `MediaExtractor` creates an additional triple with the property `rdf:type` and the object `dbo:Image`. Audio files can be unambiguously identified if the file name ends with one of the following suffixes: .flac, .wav, .midi, .kar, .opus, .spx. Additionally, we consider files ending with .ogg as audio files because until now 92.6% of all .ogg files uploaded to Wikimedia Commons are classified as sound files [Me16c]. The `MediaExtractor` adds a triple with the property `rdf:type` and the object `dbo:Sound` for each file. Video files are identified by the `MediaExtractor` based on the .webm suffix. This file type can also be used to describe audio files, but until now it has only been used for video data [Me16c]. Video files do not have a corresponding `rdf:type`, thus the `MediaExtractor` does not add any additional triples.

4.2 Enhancing the Connection Between DBpedia and DBpedia Commons

We improved the connection to DBpedia Commons by adding further multimedia references to the DBpedia resources in subsection 4.1. Typically, a page on Wikimedia Commons contains more images than the ones that are also used in Wikipedia pages. These files are all extracted to DBpedia Commons. Consumers of a DBpedia resource cannot easily consume this information because the DBpedia resource does not link the resource

on DBpedia commons. The same holds true for consumers of DBpedia Commmons. For example, there is currently no link between the DBpedia resource `https://en.wikipedia.org/wiki/Eurasian_blue_tit` and the resource on DBpedia Commons `https://commons.wikimedia.org/wiki/Cyanistes_caeruleus` and vice versa.

Some Wikipedia pages link to a page with the same subject on Wikimedia Commons. This page is independently extracted to a resource in DBpedia Commons. Wikipedia pages create this link to Wikimedia Commons with a `{{Commons}}` template. We created the `CommonsResourceExtractor` as an extractor in the Extraction Framework that detects this template, which always contains a property specifiying the name of the page on Wikimedia Commons. For example, the Wikipedia page for the Blue Tit contains the template `{{Commons | Cyanistes_caeruleus}}`. This means that there exists a page with the URL `https://commons.wikimedia.org/wiki/Cyanistes_caeruleus` on Wikimedia Commons. Therefore, the framework creates a DBpedia Commons resource with the URI `http://commons.dbpedia.org/resource/Cyanistes_caeruleus` for this page. Hence, the `CommonsResourceExtractor` creates a triple with the property `owl:sameAs` and the object `http://commons.dbpedia.org/resource/Cyanistes_caeruleus`.

Conversely, some pages on Wikimedia Commons contain a `{{VN}}` template that allows to establish a link to Wikipedia pages with the same subject. This template lists the vernacular names for the entity described on the page. The `DBpediaResourceExtractor` uses this template to link resources on DBpedia Commons to their counterparts in other DBpedia instances. It reads each of the language properties (such as “de” or “en”), their respective value contains the possible name of the corresponding page in the Wikipedia instance in that language. For example the German equivalent for the page `https://commons.wikimedia.org/wiki/Cyanistes_caeruleus` would be `https://de.wikipedia.org/wiki/Blaumeise` and the English would be `https://en.wikipedia.org/wiki/Eurasian_blue_tit`. Therefore, the language specific Extraction Frameworks create resources with the URIs `http://de.dbpedia.org/page/Blaumeise` and `http://dbpedia.org/page/Eurasian_blue_tit`. The `DBpediaResourceExtractor` creates one triple for every language with the property `owl:sameAs` and the respective DBpedia resource as an object. At the moment, we only create such links for the English, German and French DBpedia.

5 Evaluation

The change from OAI-PMH has two advantages. First, the Extraction Framework does no longer need a local MediaWiki mirror as shown in Figure 1a. This saves a significant amount of memory as the mirror needs to contain all pages that the public Wikipedia also contains (for example over 5,000,000 pages for the English Wikipedia plus redirects). Second, the elimination of the mirror and the smaller event size of RCStream events allows for a faster event transfer. For our evaluation, we were not able to compare our approach with a running OAI-PMH version because the Wikimedia Foundation discontinued OAI-PMH in March 2016. Usually, more than a minute passed between the point where a user edited

a page and the point where the Extraction Framework received the corresponding change event when using OAI-PMH [He09]. Conversely, the Extraction Framework receives change events almost instantaneously when using RCStream. However, RCStream events do not contain the page content which has to be downloaded separately in order to perform the extraction.

In this section, we evaluate the performance of the extraction (subsection 5.1) and examine the enhanced linkage between DBpedia and DBpedia Commons (subsection 5.2).

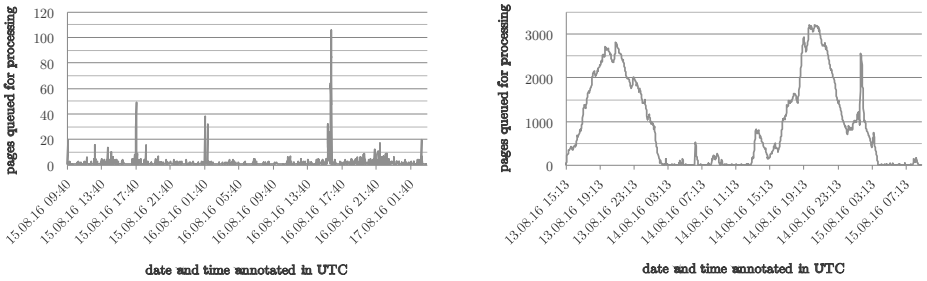
5.1 Performance Evaluation

Every DBpedia Live instance uses the Extraction Framework to create changesets. In our measures, we exclude the import of changesets into the triple store because this is a periodical task that can last zero seconds up to five minutes. When processing an event, we assume that the dominant factor in processing is the time needed for network traffic (such as querying the Wikipedia API for the page content). Therefore, when we discuss the efficiency of some workflow or optimization, we focus on network traffic.

Contrary to OAI-PMH, RCStream events contain only the affected page's title but not its ID. When we first integrated a RCStream-based change mechanism, we initially transformed the title to the page ID using the Wikipedia API. As introduced before, network traffic dominates the time needed to process these events. Therefore, we changed the Extraction Framework to also support events that only provide the page title. Thereby, we bisected the network traffic. Furthermore, we filter out events that are not of type *new* or *edit*. This allows us to discard 40% of all incoming events before they cause any network traffic. In the case of running DBpedia Live for the English Wikipedia, further 25% of events can be filtered out by only processing relevant pages, which are in the *Main*, *Template* or *Category* namespace. In total, the network traffic gets reduced to 22%.

When running DBpedia Live we need to ensure that events are faster processed than they arrive. Otherwise, the queue of items to be processed would grow until the system runs out of memory. During our tests, we measured the length of the internal queue that the DBpedia Extraction Framework queues events before it processes them. We conducted our measures inside a Docker image[7]. The Docker host runs Ubuntu 16.04 LTS inside a Hyper-V Virtual Machine on Windows Server 2012 R2. The physical system has two Intel Xeon E5-2630 v3 processors with a base speed of 2.40 GHz each and a total of 64 GB main memory. The Ubuntu VM has eight exclusive virtual processors (equals 25% of the total system resources), up to 16 GB RAM and was not running any other non-system task besides the specified Docker container. The available internet connection allows up to 150 Mbit/s and has an average ping of 26*ms* (based on 5,000 requests) to the Wikipedia servers. Other services and devices use up to 10% of this connection. We ran three configurations of the Extraction Framework for the English Wikipedia in this environment (see also Table 1):

[7] `https://github.com/semmul2016group4/docker_for_commons_live_extraction` — Dockerfile for our tests



(a) Extraction using the `RCStreamFeeder` without the `MediaExtractor`.

(b) Extraction using the `RCStreamFeeder` and the `MediaExtractor`.

Fig. 2: Pages queued for processing over time.

1. *without MediaExtractor / AllPagesFeeder.* The extraction framework processes events online. Rare peaks can be observed (see Figure 2a) that are probably caused by increased activity on Wikipedia.

2. *with MediaExtractor.* Using the `MediaExtractor` slows the processing of individual events down. If an increased amount of events occurs, the framework requires significantly longer to process the queue. On average it takes 15*min* until the changes of an event are adopted.

3. *with AllPagesFeeder and MediaExtractor.* The `AllPagesFeeder` pushes all pages (about 5.4 Million articles and 7.7 Million redirects[8]) once. The Framework then processes approximately 153 items per minute. Consequently, it would take about 66 days to process all pages in the English Wikipedia. Redirects take on average 28*ms*, articles 360. One drawback is, that new change events will be processed after all items of the `AllPagesFeeder`. Different priorities are a possible workaround.

Configuration	queue after initialization	max queue	avg delay	avg processing time
`RCStreamFeeder`	20	107	2.58*s*	229*ms*
additional `MediaExtractor`	20	3,220	911*s*	757*ms*
additional `AllPagesFeeder`	13.1*M* (5.4*M* articles / 7.7*M* redirects)	13.1*M*	-	360*ms* / 28*ms*

Tab. 1: Key performance measurements of the Extraction Framework

The throughput can be improved by processing multiple items in parallel. When going for this solution, one must take care to combine the parallel request towards the Wikipedia API to stay compliant with its usage guidelines[9].

[8] `https://stats.wikimedia.org/EN/TablesWikipediaEN.htm`

[9] `https://www.mediawiki.org/wiki/API:Etiquette` — API etiquette for Wikipedia APIs

5.2 Enhanced Linkage

In this subsection, we measure how effective our means to link additional multimedia have been. We examine how many images the `MediaExtractor` adds to the extraction of a Wikipedia page. We also measure how many `sameAs` relationships the `CommmonsResourceExtractor` and the `DBpediaResourceExtractor` add.

The `MediaExtractor` extracts additional links between DBpedia resources and multimedia resources on DBpedia Commons. The number of newly created links entirely depend on the page content in Wikipedia. Some pages such as the Eurasian Blue Tit[10] include many multimedia files (image, audio and video files). The `MediaExtractor` extracts most of them. Other pages like Oriolidae[11] only contain one image, which is already considered in the current version of the DBpedia Extraction Framework, thus no additional multimedia files are linked. However, even in this case, the `MediaExtractor` adds a link to the file resource of the file in DBpedia Commons which was unavailable before (in addition to the file link to Wikimedia Commons). Consumers of the multimedia resources can also use these links as a starting point to explore DBpedia Commons for further multimedia data. Currently, the `MediaExtractor` does not extract files in some special galleries. This can be further improved, so we can ensure that every available multimedia information is parsed.

We measured the number of Wikipedia pages that the `CommonsResourceExtractor` extracts a `sameAs` triple for. To do so, we used the Wikipedia API to determine how many pages contain a `{{Commons}}` template. In a first step, we took a sample of the alphabetically first 5,000,000 pages whose titles come after the letter 'A'. For each of these pages we queried the Wikipedia API to get all templates used on this page. We count all pages that contain a template with the name "Template:Commons" and all pages that do not contain a template with the name "Template:Redirect template". The latter indicates that the page is a redirect page, which does not have any content. In our measures (on the 30th August 2016) we found out that the ratio of Commons templates on the English Wikipedia is $\frac{number\ of\ pages\ with\ commons\ template}{number\ of\ pages\ without\ redirect\ template} = \frac{11415}{4971671} \approx 0.23\%$. One reason for this low coverage is that many pages on Wikipedia reference a page in the `Category` namespace (such as the Tufted Titmouse[12]). Or they do not reference a page in Wikimedia Commons at all (such as the Grey Crested Tit[13]) even though a category page exists[14]. In this state users can hardly rely on this link to exist, so it would be essential to improve the percentage of sites the `CommonsResourceExtractor` extracts a link for.

We measured the approximate number of pages that the `DBpediaResourceExtractor` extracts at least one `sameAs` triple for. We took a similar approach to the measures for the `CommonsResourceExtractor`. We query for the alphabetically first 5,000,000 pages after the

[10] `https://en.wikipedia.org/wiki/Eurasian_blue_tit` — Wikipedia article about Eurasian blue tit
[11] `https://en.wikipedia.org/wiki/Old_World_oriole` — Wikipedia article about Oriolidae
[12] `https://en.wikipedia.org/wiki/Tufted_titmouse` — Wikipedia page of the Tufted Titmouse
[13] `https://en.wikipedia.org/wiki/Grey_crested_tit` — Wikipedia page of the Grey Crested Tit
[14] `https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Lophophanes_dichrous` — Grey Crested Tit in Commons

letter 'A'. However, there are only a total of 215,565 pages (as of 30th August 2016). We assume the number to be smaller because most information in Wikimedia Commons is stored in the `Category` namespace and not in the `Main` namespace [Me16a]. We calculated the relative number of pages that contain a `{{VN}}` template while excluding pages with a redirect template. This yields an approximate ratio of $\frac{number\ of\ pages\ with\ VN\ template}{number\ of\ pages\ without\ redirect\ template} = \frac{3521}{215565} \approx 1.63\%$ of pages that the `DBpediaResourceExtractor` can extract at least one `sameAs` triple for. The ratio is this small because the `{{VN}}` template used to find corresponding pages on Wikipedia is mostly used for animals and should be extended by using other templates to create a more reliable linkage between the instances.

6 Conclusion and Outlook

The Linked Open Data Cloud is a set of semantic data providers on the internet. DBpedia is part of the Linked Open Data Cloud that offers structured data from Wikipedia in a semantic format. We re-enabled DBpedia Live, an instance of DBpedia that continuously synchronizes with Wikipedia to serve the latest data and changes. We integrated the ability to consume RCStream with the DBpedia Extraction Framework. RCStream feeds the titles of changed pages into the Extraction Framework which then re-extracts the affected pages. The resulting triples are imported into DBpedia Live to replace outdated information.
We also extended the Extraction Framework to improve the accessibility of multimedia information. To do so, we added an extractor for DBpedia which detects most multimedia files on a Wikipedia page and extracts these. Therefor, we created a new property `dbo:mediaItem` which links to the file resource on DBpedia Commons for all files whose licenses allow the usage in open data. We additionally created two extractors that link resources from DBpedia Commons and other DBpedia instances and vice versa based on templates found in the articles in Wikipedia and Wikimedia Commons, respectively.

In its current state, the `MediaExtractor` creates a significant increase in network traffic. As a consequence, events take longer to process than it takes new events to arrive. Therefore, an important aspect of future work would be to find ways to enable faster processing. While the `AllPagesFeeder` properly initializes a new DBpedia instance and resynchronizes it after a downtime, it basically blocks the extraction for other feeders. Future work might find more suitable ways to integrate the `AllPagesFeeder`. One possible approach could be to filter out redirect pages when resynchronizing after a downtime since such pages will not create any meaningful triples. Currently, multimedia files in category pages on Wikimedia Commons are not extracted and are therefore not available in DBpedia Commons. One could think of extracting this data for DBpedia Commons and improving the `CommonsResourceExtractor` by also taking category pages into account. This will increase the coverage of Wikipedia pages for which a link to a DBpedia Commons resource can be extracted. In addition, more templates (such as the `{VN}` for animals) should be added to the `DBpediaResourceExtractor` to add additional links to corresponding Wikipedia articles from Wikimedia Commons pages.

7 Acknowledgement

This work is based on the seminar *Semantic Multimedia* at the Hasso Plattner Institute. The authors would like to thank Prof. Dr. Harald Sack and Magnus Knuth for their support.

References

[AL07] Auer, Sören; Lehmann, Jens: What have innsbruck and leipzig in common? extracting semantics from wiki content. In: European Semantic Web Conference. Springer, pp. 503–517, 2007.

[Au07] Auer, Sören; Bizer, Christian; Kobilarov, Georgi; Lehmann, Jens; Cyganiak, Richard; Ives, Zachary: Dbpedia: A nucleus for a web of open data. In: The semantic web, pp. 722–735. Springer, 2007.

[Ga11] García-Silva, Andrés; Jakob, Max; Mendes, Pablo N; Bizer, Christian: Multipedia: enriching DBpedia with multimedia information. In: Proceedings of the sixth international conference on Knowledge capture. ACM, pp. 137–144, 2011.

[He09] Hellmann, Sebastian; Stadler, Claus; Lehmann, Jens; Auer, Sören: DBpedia live extraction. In: OTM Confederated International Conferences“ On the Move to Meaningful Internet Systems”. Springer, pp. 1209–1223, 2009.

[Ko12] Kontokostas, Dimitris; Bratsas, Charalampos; Auer, Sören; Hellmann, Sebastian; Antoniou, Ioannis; Metakides, George: Internationalization of linked data: The case of the greek dbpedia edition. Web Semantics: Science, Services and Agents on the World Wide Web, 15:51–61, 2012.

[Le15] Lehmann, Jens; Isele, Robert; Jakob, Max; Jentzsch, Anja; Kontokostas, Dimitris; Mendes, Pablo N; Hellmann, Sebastian; Morsey, Mohamed; van Kleef, Patrick; Auer, Sören et al.: DBpedia–a large-scale, multilingual knowledge base extracted from Wikipedia. Semantic Web, 6(2):167–195, 2015.

[Me16a] MediaWiki: , Help:Namespaces, 2016. Online: current as of August 30th, 2016.

[Me16b] MediaWiki: , Manual:RCFeed, 2016. Online: current as of June 21st, 2017.

[Me16c] Mediawiki: , Media statistics, 2016. Online: current as of August 28th, 2016.

[Mo12] Morsey, Mohamed; Lehmann, Jens; Auer, Sören; Stadler, Claus; Hellmann, Sebastian: Dbpedia and the live extraction of structured data from wikipedia. Program, 46(2):157–181, 2012.

[Op15] Open Archives Initiative: , Open Archives Initiative Protocol for Metadata Harvesting, 2015. Online: current as of June 21st, 2017.

[SHK06] Suh, Sangweon; Halpin, Harry; Klein, Ewan: Extracting common sense knowledge from wikipedia. In: Proceedings of the Workshop on Web Content Mining with Human Language Technologies at ISWC. volume 6, 2006.

[Va15] Vaidya, Gaurav; Kontokostas, Dimitris; Knuth, Magnus; Lehmann, Jens; Hellmann, Sebastian: DBpedia commons: structured multimedia metadata from the wikimedia commons. In: International Semantic Web Conference. Springer, pp. 281–289, 2015.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 2499

Systematische Integration des Requirements Engineerings in den Softwareentwicklungsprozess

Daniela Bommarito[1,2]

Abstract: Klarheit über die umzusetzenden Anforderungen ist eine zentrale Grundvoraussetzung für ein erfolgreiches Softwareentwicklungsprojekt. Entsprechend ist gutes Requirements Engineering (RE) eine Schlüsseldisziplin im Softwareentwicklungsprozess. Die Projektpraxis zeigt jedoch, dass sich die adäquate Erfassung von Anforderungen häufig als schwierig gestaltet. Insbesondere bei Projekten, die in Ansätzen, aber nicht vollständig nach agilen Grundsätzen durchgeführt werden, bringt das RE diverse Herausforderungen mit sich. Typische Fallstricke sind u.a die in der Praxis oft unzureichende Konsolidierung der kundenseitigen Anforderungen durch den Product Owner oder die interdisziplinären Kompetenzen, über die agil arbeitende Entwicklerteams verfügen müssen. Um die Qualität der Anforderungsdefinition zu verbessern ist es notwendig, die einzelnen RE-Aktivitäten so in den Entwicklungsprozess zu integrieren, dass sie den vorhandenen Rahmenbedingungen des Projektes Rechnung tragen. Dazu zählen beispielsweise die Komplexität des Vorhabens, die Stabilität der Anforderungen oder die verfügbaren Kompetenzen der beteiligten Personen. In dieser Arbeit wird eine systematische Vorgehensweise definiert, um passend zu projektspezifischen Rahmenbedingungen einen geeigneten RE- und Entwicklungsprozess auszuwählen und diesen pragmatisch so anzupassen, dass er den realen Gegebenheiten des jeweiligen Projektes gerecht wird.

Keywords: Requirements Engineering; Softwareentwicklungsprozess; agiles Vorgehen; Tailoring

1 Motivation

"Nur wer sagt, was er möchte, bekommt, was er will" proklamiert sinngemäß der Unternehmensberater und Kommunikationstrainer George Walther. Übertragen auf die Softwareentwicklung bedeutet das, dass ein Softwareentwicklungsprojekt überhaupt nur dann erfolgreich sein kann, wenn geklärt ist, welche Anforderungen die zu erstellende Software eigentlich erfüllen soll. Dabei müssen nicht zwangsweise alle Anforderungen vollständig verstanden sein, bevor überhaupt mit der Implementierung begonnen wird. Aber für dasjenige Inkrement, an dem gerade entwickelt wird, sollte klar sein, was es leisten soll. Nur dann steht fest, was im aktuellen Entwicklungsschritt eigentlich umzusetzen ist.

[1] Hochschule München, Fakultät für Informatik und Mathematik, Lothstraße 64, 80335 München, bommarit@hm.edu
[2] ARS Computer und Consulting GmbH, Ridlerstraße 37, 80339 München, daniela.bommarito@ars.de

doi:10.18420/in2017_253

Klarheit über die umzusetzenden Anforderungen ist also ein wesentlicher Erfolgsfaktor in der Softwareentwicklung. Entsprechend ist gutes RE eine Schlüsseldisziplin im Softwareentwicklungsprozess.

Analysen der Projektpraxis vergangener Jahre belegen, dass adäquates RE nach wie vor ein schwieriges Unterfangen ist. Dabei ist jedoch zu beobachten, dass sich die Ursachen der Schwierigkeiten über die Jahre verschieben. Beispielsweise befand der Chaos Report[3] von 2003 der Standish Group, dass von den untersuchten Projekten weltweit im Durchschnitt 45% der Features der entwickelten Software nach deren Fertigstellung *nie* verwendet wurde. Gleichzeitig wurden viele der tatsächlich benötigten Funktionalitäten gar nicht oder nur eingeschränkt umgesetzt. Der Bericht führte diese Situation darauf zurück, dass "klassische", d.h. stark dokumenten-zentrierte Entwicklungsprozesse zu reaktionsträge sind, um den Erfordernissen von sich ändernden Anforderungen während der Entwicklungszeit gerecht zu werden [SGI02].

Abhilfe schaffen sollte das Paradigma der agilen Softwareentwicklung, das maßgeblich geprägt ist durch mehr persönliche Interaktion und weniger formale Dokumentation, eine intensive Einbindung der Kunden in das Entwicklungsgeschehen, kurze Zyklen, kontinuierliches Feedback und eine generelle Offenheit für Veränderungen [Be01]. Der Chaos Report von 2015 belegt, dass die agil durchgeführten Projekte im Mittel erfolgreicher abschneiden als nach dem Wasserfallmodell organisierte Projekte [HW15].

Agile Entwicklungsprozesse verbessern also die Situation, stoßen in der Praxis aber immer wieder an ihre Grenzen. Die Erfahrung zeigt beispielsweise, dass insbesondere kleinere Projekte durch einen agilen Entwicklungsprozess vergleichsweise zuverlässig zum Erfolg geführt werden (58%), während bei großen Projekten lediglich 18% der agil durchgeführten Projekte erfolgreich waren [HW15].

In der Praxis gestaltet sich die lehrbuchmäßige Anwendung von agilen Entwicklungsprozessen dabei oft als schwierig. Die Gründe dafür sind vielfältig und hängen von verschiedenen Einflussfaktoren ab. Beispielsweise ist die direkte Kommunikation nicht möglich, wenn die Projektbeteiligten räumlich verteilt arbeiten.

Die Umstellung von einem klassischen Vorgehensmodell auf ein agiles Paradigma stellt zudem neue Anforderungen an die Beteiligten. Während im klassischen Vorgehen meist spezialisierte Teams mit definierten Hierarchien und Verantwortungsbereichen agieren, setzen agile Vorgehen wie Scrum [Sc95b] auf funktionsübergreifende Teams, die selbstorganisiert zusammen arbeiten. Die dafür erforderlichen interdisziplinären Kompetenzen müssen jedoch erst neu aufgebaut werden. Bei Scrum benötigen Product Owner bspw. Domänen- und Requirementskenntnisse, Entwickler benötigen Entwicklungs- und grundlegende Domänenkenntnisse und beide benötigen umfassende Kommunikationsfähigkeiten.

[3] Die wissenschaftliche Präzision des Chaos Reports ist umstritten. Es geht hier also weniger um die genauen Werte als um die Größenordnung der Aussage.

Sind diese Voraussetzungen nicht erfüllt und können diese zur Projektlaufzeit nicht rechtzeitig hergestellt werden, müssen geeignete systematische Maßnahmen getroffen werden, um das Projekt dennoch zuverlässig zum Erfolg zu führen.

2 Zielsetzung

Diese Arbeit beschreibt eine systematische Vorgehensweise, die ausgehend von Problemmerkmalen (d. h. den Eigenschaften der Aufgabenstellung an sich) und organisatorischen Projektrahmenbedingungen einen darauf abgestimmten Softwareentwicklungsprozess konzipiert. Dabei wird sichergestellt, dass bei instabilen Anforderungen oder stark innovativen Aufgabenbereichen kurze Feedback-Zyklen zu einer schnellen Validierung der Projektergebnisse führen. Gleichzeitig werden die RE-Aktivitäten in diesem Prozess so gestaltet, dass Anforderungen auf eine Art und Weise erhoben werden, die zu den organisatorischen Rahmenbedingungen passt.

Hierzu wird anhand der Problemmerkmale ermittelt, welches Vorgehensmodell sich am besten für die Durchführung dieses Projektes eignet. Die aus der Literatur bekannten Vorgehensmodelle werden danach pragmatisch auf die realen Gegebenheiten angepasst. Diese systematische Vorgehensweise hilft dem Anwender, die geeigneten Fragen zu stellen, um frühzeitig Risiken zu erkennen und somit den Entwicklungsprozess passend zum Problem und den projektspezifischen, organisatorischen Rahmenbedingungen aufzusetzen.

3 Stand von Wissenschaft und Praxis

Die Herausforderungen, die sich beim Anpassen des Softwareentwicklungsprozesses ergeben, werden in diversen Studien thematisiert. Im Fokus liegen dabei die Ermittlung der relevanten Einflussfaktoren sowie das systematische Vorgehen beim Tailoring.

Boehm und Turner entwickelten eine Vorgehensweise, die als Grundlage zur Prozessanpassung die folgenden Projekteinflussfaktoren berücksichtigt: Kritikalität, Anzahl der Projektbeteiligten, Dynamik, Arbeitskultur und Kompetenzgrad. Abhängig von der Ausprägung dieser Einflussfaktoren wird das geeignete Paradigma (agil oder klassisch) ausgewählt und projektspezifisch angepasst mit dem Ziel, die Projektrisiken zu minimieren [BT03].

Ebenso präsentieren Xu und Ramesh in ihrer Studie ein Framework zur systematischen Prozessanpassung. Dabei bewerten sie anhand einer Methode die Auswirkungen bestimmter Projekteinflussfaktoren. Aus dieser Bewertung leiten sie einen Anpassungsbedarf des Entwicklungsprozesses ab, dem sie mit entsprechenden Maßnahmen nachkommen [XR08].

Im Vergleich dazu liegt der Fokus der Metastudie von Kalus und Kuhrmann nicht auf der Vorgehensweise, sondern auf den Projektrahmenbedingungen, die für eine Prozessanpassung relevant sind. Das Ergebnis dieser Metastudie ist ein Katalog mit 49 Rahmenbedingungen, die in die Kategorien Team, Ziele sowie internes und externes Umfeld eingeteilt sind [KK13].

Nach Rong et al. müssen die Elemente für den Entwicklungsprozess passend zu den Projektrahmenbedingungen ausgewählt werden. Zudem sind auch die Grundprinzipien zu beachten, die sicherstellen, dass die Prozesselemente aufeinander abgestimmt sind und konsistent ineinander greifen. Andernfalls bestehen für das Projekt erhöhte Risiken [Ro14].

Saleh verfolgt in seiner Vorgehensweise zur Prozessanpassung einen Bottom-up-Ansatz: Zunächst werden agile Prozesselemente anhand vordefinierter Regeln passend zu den Projektrahmenbedingungen ausgewählt und zusammengesetzt. Das dazu geeignete Vorgehensmodell wird im Gegensatz zu den bisher bekannten Vorgehensweisen erst im Nachhinein bestimmt. Weist hier die Mehrzahl der ausgewählten Prozesselemente auf ein bestimmtes Vorgehensmodell hin, so wird dieses im Projekt angewendet [Sa13].

Mittlerweile ist weitgehend akzeptiert, dass der Entwicklungsprozess in der Regel projektspezifisch angepasst werden muss. Wie bei dieser Prozessanpassung dabei genau vorzugehen ist, ist jedoch in weiten Teilen noch unklar [Ro14]. Entsprechend ist das Tailoring des Entwicklungsprozesses oft intuitiv und aus dem Erfahrungsschatz der Verantwortlichen heraus getrieben. In der Folge ist das Ergebnis oft stark personenabhängig und nur bedingt von außen nachvollziehbar [BGB08]. Auch in den oben aufgeführten Studien sind die Lösungsansätze teilweise ungenau beschrieben, was eine praktische Anwendung erschwert. Zudem zeigen sie, dass oft relevante Informationen nicht berücksichtigt werden. Diese Arbeit stellt daher eine detaillierte systematische Vorgehensweise vor, die anhand relevanter Einflussfaktoren schnell und effektiv einen Entwicklungsprozess projektspezifisch anpasst.

4 Auswählen des geeigneten Paradigmas für den Entwicklungsprozess und Ermitteln von Anpassungsbedarf

In Projekten stehen zur Lösung von Entwicklungsaufgaben unterschiedliche Ansätze zur Auswahl. Entsprechend ist beim Aufsetzen eines projektspezifischen Entwicklungsprozesses zunächst dasjenige Paradigma (agil oder klassisch) auszuwählen, das zu den Erfordernissen der Entwicklungsaufgabe am besten passt. Um die in diesem Kontext relevanten Unterschiede der beiden Paradigmen zu verdeutlichen, werden im Folgenden Scrum (agil) [Sc95b] und V-Modell XT (klassisch) [VXT15] als exemplarische Vertreter gegenüber gestellt.

Einer der Hauptunterschiede liegt im Umgang mit Anforderungsänderungen. Diese werden in Scrum laufend angenommen, um ein den Anforderungen entsprechendes Produkt zu entwickeln. Dagegen werden bei einer Entwicklung nach dem V-Model XT Änderungen ausschließlich über einen speziellen Änderungsprozess eingebracht.

Des Weiteren schreibt das V-Modell XT die Erstellung einer detaillierten Spezifikation vor. Dementsprechend besitzt eine im Vorfeld erarbeitete Anforderungsdefinition einen deutlich höheren Stellenwert als bei Scrum. Im Gegensatz dazu zielt Scrum weniger auf eine umfassende Anforderungsdokumentation ab, sondern legt den Fokus eher auf das Entwickeln eines funktionsfähigen (Teil-)Produktes.

Um diese Vorgehensweise bei Scrum zu ermöglichen, bedarf es einer engen und kontinuierlichen Zusammenarbeit zwischen den Projektbeteiligten. Durch Face-to-Face-Kommunikation und sehr kurze Feedback-Schleifen bleiben Scrum-Teams in ständigem Kontakt mit dem Anforderungsgeber. Eine solche enge Zusammenarbeit ist beim V-Modell XT nicht zwingend vorgesehen und findet daher meist nicht kontinuierlich über den gesamten Projektverlauf statt, sondern lediglich phasenweise.

Zudem zeichnen sich Scrum-Teams durch eine eigenverantwortliche und unabhängige Arbeitsweise aus. Dafür werden fachübergreifende motivierte Teams gebildet, in denen alle Teammitglieder möglichst alle Tätigkeiten übernehmen können. Im V-Modell XT ist stattdessen eine übergeordnete Projektsteuerung erforderlich, um die nach Disziplinen getrennten Teams zu koordinieren.

Aufgrund dieser Unterschiede zwischen dem agilen und dem klassischen Paradigma sind nicht beide für jede Problemart gleichermaßen gut geeignet. Damit der Entwicklungsprozess den Problemmerkmalen gerecht wird, muss daher zunächst das geeignete Paradigma ausgewählt werden. Sind die organisatorischen Rahmenbedingungen damit nicht vereinbar, wird anschließend der Entwicklungsprozess angepasst und die RE-Aktivitäten darin integriert.

4.1 Auswählen des geeigneten Paradigmas für den Entwicklungsprozess

Bei der Auswahl des geeigneten Prozessparadigmas (klassisch oder agil) stehen die *Problemmerkmale* im Vordergrund. Darunter sind Eigenschaften zu verstehen, die sich unmittelbar aus der Aufgabenstellung selbst ergeben. Diese grenzt man von *organisatorischen Rahmenbedingungen* ab, die durch das Umfeld der Projektabwicklung bedingt sind.

Als Problemmerkmale werden Sicherheitskritikalität, Stabilität der Anforderungen, Innovationsgrad und Erfolgsrelevanz von Time-to-Market betrachtet. Dabei werden genau diejenigen Merkmale fokussiert, die einen direkten Bezug zu den oben betrachteten Prinzipien des agilen Paradigmas aufweisen. Auf dieser Grundlage ist schnell erkennbar, ob dieses Paradigma zur Lösung der Problemstellung geeignet ist. Abbildung 1 zeigt die systematische Vorgehensweise zur Auswahl des geeigneten Prozessparadigmas.

Wichtig ist dabei nicht nur die Auswahl der Problemmerkmale, sondern auch die Reihenfolge, in der diese betrachtet werden. Wenn anhand der Ausprägung von einem dieser Merkmale unmittelbar entscheidbar ist, welches der Paradigmen am besten geeignet ist, so müssen die anderen Problemmerkmale nicht weiter betrachtet werden. Entsprechend ist es sinnvoll, diese Problemmerkmale vorrangig zu betrachten. Dadurch wird es möglich, schnell mit vergleichsweise wenig Aufwand ein zur Problemstellung passendes Prozessparadigma auszuwählen.

Ist beispielsweise das Problem sicherheitskritisch, so ist die Entwicklung in vielen Anwendungsbereichen durch Gesetze und Verordnungen streng reglementiert, wie zum Beispiel im Automotive- [Hi12] oder im Medizin-Bereich [TU993]. In der Regel ist dabei verpflichtend

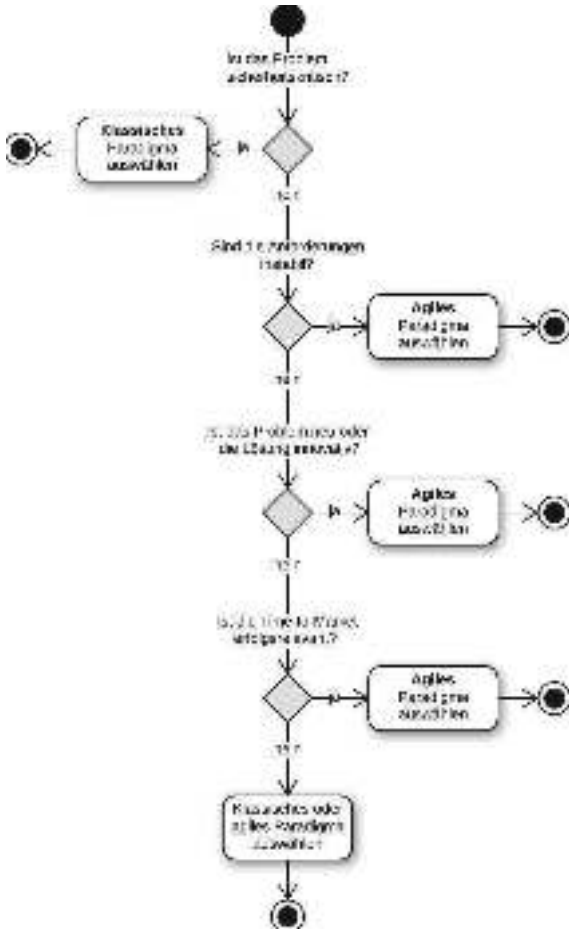


Abb. 1: Auswahl des Prozessparadigmas anhand von Problemmerkmalen

vorgegeben, dass die verschiedenen Entwicklungsschritte und -artefakte detailliert dokumentiert werden müssen, um später die Erfüllung der Anforderungen belegen zu können. Diese Forderung weicht jedoch vom agilen Paradigma ab, welches den mündlichen Dialog höher wertet als das Produzieren von Artefakten. Dabei beschränkt sich die agile Dokumentation meistens auf User Stories. Ergänzt durch Erläuterungen des Product Owners (PO) sind diese ausreichend, um ein fachliches Verständnis zu schaffen, auf dessen Grundlage entwickelt werden kann. Die dabei entstehende Dokumentation erfüllt jedoch meist nicht die formalen Vorgaben. Ist diese detaillierte Dokumentation erforderlich, kommt daher nur das (klassische) dokumenten-zentrierte Vorgehen in Frage. Probleme, die nicht sicherheitskritisch sind, können dagegen prinzipiell mit jedem der beiden Paradigmen gleichwertig gelöst werden. Für eine Entscheidung müssen dann weitere Merkmale herangezogen werden.

Falls die Produktvision noch unklar oder die Entwicklungsaufgabe in einem sehr dynamischen fachlichen Umfeld angesiedelt ist, können bei der Problemlösung auch instabile Anforderungen auftreten. Darunter versteht man Anforderungen, die innerhalb der Entwicklungszeit in kurzen Abständen neu aufgenommen oder geändert werden. Dies ist im agilen Vorgehen zu jedem beliebigen Zeitpunkt willkommen, beim klassischen Vorgehen dagegen mit vermehrtem Aufwand verbunden [Be01]. Bei Projekten mit stabilen Anforderungen kann dagegen wahlweise agil oder klassisch vorgegangen werden. Die Entscheidung bedarf also einer weiteren Betrachtung von Merkmalen.

Des Weiteren kann das zu lösende Problem in technischer oder fachlicher Hinsicht neuartig sein, bzw. einen innovativen Lösungsansatz erfordern. Um hierzu neue Ideen zu erarbeiten sind Freiräume und eine entsprechende Fehlerkultur notwendig. Darauf legt das agile Vorgehen besonderen Wert [HC01]. Liegt hingegen ein niedriger Innovationsgrad vor, so steht auch hier die Auswahl zwischen agilem und klassischem Paradigma frei.

Hat die bisherige Betrachtung noch zu keiner Entscheidung für ein Paradigma geführt, so wird beurteilt, ob eine möglichst kurze Time-to-Market (d.h. die Zeitspanne zwischen Produktentwicklung und -auslieferung) für den Projekterfolg relevant ist. Ist der Projekt- und Produkterfolg von einer kurzfristigen Auslieferung von funktionsfähigen Produktinkrementen abhängig, so ist das agile Vorgehen vorzuziehen, da hier sehr schnell einsetzbare Produktversionen entstehen, deren Verwendung dem Nutzer bereits einen Mehrwert liefert [Sc95a]. Ist dies jedoch nicht der Fall, sind agiles und klassisches Vorgehen für die Lösung des Problems gleichermaßen gut geeignet.

Das Ergebnis dieser systematischen Vorgehensweise kann also entweder für den Einsatz eines bestimmten Paradigmas sprechen oder die Auswahl zwischen den beiden Vorgehensmodellen offenhalten. Im zweiten Fall kann die Auswahl des Paradigmas anhand der Arbeitskultur oder der Präferenzen und Erfahrungen im Team erfolgen [Ce14]. Nachdem das Paradigma feststeht, muss es zur effektiven Anwendung im nächsten Schritt mit den organisatorischen Rahmenbedingungen abgeglichen werden.

4.2 Abgleichen des Paradigmas mit den organisatorischen Rahmenbedingungen

In der Realität passen die bestehenden organisatorischen Rahmenbedingungen eines Projektes nicht immer optimal zu demjenigen Prozessparadigma, das den Anforderungen des Problems am besten gerecht wird. In diesem Fall muss das Vorgehen angepasst werden, um den organisatorischen Rahmenbedingungen gerecht zu werden. Derzeit existieren nur wenige systematische Tailoring-Ansätze für agile Modelle [XR08, BT03]. Zudem stellen agile Projekte hinsichtlich einiger zentralen organisatorischen Rahmenbedingungen spezifischere Ansprüche und ziehen entsprechend mehr Anpassungsbedarf nach sich, als dies bei klassischen Projekten der Fall ist. Beispielsweise erfordert das agile Prinzip der Face-to-Face-Kommunikation eine örtliche Präsenz der Projektbeteiligten, die bei Bedarf hergestellt werden muss. Dagegen stellt eine örtliche Verteilung für einen stark dokumenten-zentrierten

Entwicklungsprozess weniger ein Hindernis dar. Daher fokussieren wir im Folgenden das agile Vorgehen, um es mit den organisatorischen Rahmenbedingungen abzugleichen und ggf. projektspezifischen Anpassungsbedarf zu ermitteln.

Als mögliche organisatorische Rahmenbedingungen werden örtliche Verfügbarkeit, konsolidierte Anforderungen, Kompetenzen der Team-Mitglieder und Anzahl der Teams betrachtet. Abhängig von ihrer Ausprägung können diese Rahmenbedingungen sich auf die Anwendbarkeit der agilen Prinzipien unmittelbar auswirken.

Sind Anforderungsgeber aufgrund einer räumlichen Trennung vom Entwicklungsteam örtlich nicht verfügbar, so beeinträchtigt das die im agilen Vorgehen vorgesehene enge Zusammenarbeit. Denn agile Projekte setzen für den Informationsaustausch auf eine Face-to-Face-Kommunikation statt auf schriftliche Dokumentation [Be01].

Die Wahrscheinlichkeit, dass in einem Projekt widersprüchliche Anforderungen auftreten, ist besonders hoch bei umfangreichen Projekten sowie bei unterschiedlichen Meinungen, örtlicher Verteilung oder einer hohen Anzahl an Anforderungsgebern. Beim agilen Vorgehen werden widersprüchliche Anforderungen und daraus resultierende Konflikte oft erst relativ spät im Laufe des Projektes bekannt, was zu einem hohen Konsolidierungsaufwand führt.

In umfangreichen Projekten (d.h. Projekten, die mehr als zwei Personenjahre an Arbeitsleistung benötigen) kommen in der Regel mehrere Entwicklerteams zum Einsatz. Dabei besteht die Gefahr, dass durch die getrennte Entwicklung der Produktteile diese beim Zusammenführen nicht optimal zueinanderpassen. Insbesondere bei nicht modularisierbaren Systemen ist in diesem Fall mit einem hohen Konsolidierungsaufwand zu rechnen.

Damit ein Team in der Lage ist, möglichst selbst organisiert und unabhängig zu arbeiten, benötigt jedes Mitglied fachliche Kenntnisse im RE- und SE-Bereich sowie kommunikative Fähigkeiten. Bei Defiziten in einem der Bereiche ist es jedoch möglich, im Projektverlauf die fehlenden Kompetenzen in den Betroffenen aufzubauen, beispielsweise durch Training on the Job [Sc95a]. Demzufolge besteht hier kein Anpassungsbedarf des Entwicklungsprozesses an sich, solange die fehlende Kompetenzen frühzeitig im Projekt erworben werden.

Die organisatorischen Rahmenbedingungen können also von den agilen Werten abweichen, was das Anwenden des agilen Paradigmas in Reinform schwierig gestaltet. Um dieser Situation gerecht zu werden und in Summe eine effektive Entwicklung zu gewährleisten, wird im Folgenden das lehrbuchmäßige agile Vorgehen entsprechend systematisch an die organisatorischen Rahmenbedingungen angepasst.

4.3 Anpassen des Entwicklungsprozesses und Integrieren der RE-Aktivitäten

Diskrepanzen zwischen dem agilen Paradigma und den organisatorischen Rahmenbedingungen sind also ein Indikator dafür, dass Anpassungsbedarf am lehrbuchmäßigen agilen

Vorgehen besteht. Nicht immer lassen sich die bestehenden organisatorischen Rahmenbedingungen eines Projektes so anpassen, dass sie mit dem agilen Paradigma kompatibel sind, da die entsprechenden Maßnahmen dafür oft sehr aufwändig sind. Stattdessen ist eine Anpassung des Entwicklungsprozesses meist eher möglich.

Um den Prozess möglichst schnell und effektiv anzupassen wird schrittweise vorgegangen:

1. Symptome erkennen
2. Konkrete Ursache für den Anpassungsbedarf ermitteln
3. Geeignete Maßnahmen zuordnen
4. Maßnahmen in den Entwicklungsprozess integrieren

Diese Schritte werden auf die oben ermittelten Anpassungsbedarfe angewendet und dafür exemplarisch Maßnahmen ergriffen (siehe Tabelle 1).

Org. Faktoren	**Symptome**	**Ursachen**	**Maßnahmen und RE-Integration**
Örtliche Verteilung	Keine enge Zusammenarbeit	Verschiedene Standorte	Phasenweise örtliche Versetzung des Teams oder RE-erfahrener Person, digitale Tools
Widersprüchliche Anforderungen	Spät erkannte fachliche Konflikte	Viele Anforderungsgeber	Anforderungserhebung und -konsolidierung durch PO, Konsolidierungsworkshops
		Hoher Umfang	Vorab Gesamtüberblick verschaffen
Mehrere Entwicklerteams	Technische Konflikte	Getrennte Umsetzung	Klare Definition unabhängiger Schnittstellen
		Keine Abstimmung	Kurze Entwicklungszyklen, Abstimmung

Tab. 1: Überblick über org. Rahmenbedingungen, deren Folgen und mögliche Maßnahmen

Anpassungsbedarf besteht, wenn Anforderungsgeber und Entwicklungsteam voneinander örtlich getrennt sind. Um dennoch eine enge Zusammenarbeit zu gewährleisten, sind verschiedene Maßnahmen denkbar. Eine Möglichkeit besteht darin, eine der beiden Gruppen zu versetzen, um die Face-to-Face-Kommunikation zu ermöglichen. Eine andere, oft leichter umsetzbare Maßnahme ist, erfahrene Entwickler oder Requirements Engineers phasenweise vor Ort beim Anforderungsgeber einzusetzen, um das erforderliche Domänenwissen und Verständnis der Anforderungen aufzubauen. Anschließend geben diese Personen ihr Wissen an das Entwicklungsteam weiter. Wissensaufbau vor Ort bei den Anforderungsgebern und Weitergabe dieses Wissens an das Entwicklungsteam erfolgen also zeitversetzt im Wechsel.

Ist eine örtliche Zusammenführung nicht möglich, so werden digitale Kommunikationswerkzeuge eingesetzt, um die Trennung so gut wie möglich zu überbrücken. In der Regel lässt sich dadurch jedoch nicht die gleiche Intensität der Kommunikation erreichen, die bei räumlicher Präsenz möglich ist.

Widersprüchliche Anforderungen können verschiedene Ursachen haben. Wichtig ist dabei mögliche fachliche Konfliktstellen frühzeitig zu identifizieren und aufzulösen. Je mehr Anforderungsgeber an einem Projekt beteiligt sind, umso höher ist das Potential für widersprüchliche Anforderungen. Hier ist es Aufgabe des PO, die Anforderungen der

einzelnen Anforderungsgeber zu ermitteln und zu konsolidieren, bevor diese ins Backlog einfließen. Falls der PO keine RE-Kenntnisse besitzt, kann eine RE-erfahrene Person oder ein RE-Team dabei unterstützen. Konsolidierungsworkshops sind eine weitere Maßnahme, um diese Konflikte zu adressieren und eine gemeinsame Zielvorstellung zwischen mehreren Anforderungsgebern zu erarbeiten.

Bei sehr umfangreichen Projekten mit hohem Entwicklungsaufwand besteht die Möglichkeit mit einem RE-Team vor Beginn der eigentlichen Entwicklung ein grobes Verständnis der Anforderungen zu erarbeiten, um sich so einen Gesamtüberblick zu verschaffen und Konflikte frühzeitig zu erkennen.

Neben den fachlichen Widersprüchen müssen eventuell auch technische bzw. umsetzungsbedingte Konflikte konsolidiert werden. Diese entstehen in der Regel, wenn für die Realisierung eines Produktes mehrere getrennte Entwicklerteams eingesetzt werden. Als Maßnahmen sind kurze Entwicklungszyklen zu etablieren, um Konflikte frühzeitig zu erkennen. Des Weiteren sind klare, unabhängige Schnittstellen zwischen den Produktteilen zu definieren, damit die Teams weit gehend unabhängig voneinander entwickeln können. So lassen sich spätere Produktanpassungen reduzieren.

5 Erste Ergebnisse

Das hier vorgestellte systematische Vorgehen zur Auswahl des Entwicklungsparadigmas und der darauf basierende Anpassungsprozess wurden bereits erfolgreich in ersten Projekten angewendet.

In einem Softwareentwicklungsprojekt wurde durch den Kunden das V-Modell XT als Prozess vorgegeben. Dabei ging es um die Erstellung eines sicherheitskritischen Systems mit einem Gesamtaufwand von 60 Personentagen. Die Analyse der Problemmerkmale wies jedoch für einen Teilbereich (ca. 25 Personentage), aufgrund von instabilen und noch nicht konsolidierten Anforderungen, auf ein lokal anzuwendendes agiles Vorgehen hin. Die Betrachtung der organisatorischen Rahmenbedingungen ergab einen Anpassungsbedarf am agilen Vorgehen, da die (zeitweise) örtliche Verteilung von PO und Entwicklungsteam für die Projektdauer nicht aufgelöst werden konnte. Darüber hinaus gab es für bestimmte Bereiche der Anwendung Dokumentationsvorschriften, die eingehalten werden mussten.

Um das RE besser in den Entwicklungsprozess zu integrieren wurden verschiedene Maßnahmen ergriffen. Die örtliche Verteilung wurde ausgeglichen, indem die Kernanforderungen bereits vor Beginn der Entwicklung von einer Teilmenge des Entwicklerteams erhoben und detailliert beschrieben wurden. Dem agilen Ansatz folgend wurde die fachliche Dokumentation für die Entwickler auf das Wesentliche beschränkt. Im Vordergrund stand, dass sich die Beteiligten ein grundlegendes Verständnis der kundenseitigen Anforderungen durch intensivere Kommunikation aneignen. Zusätzlich wurde eine Person aus diesem Team als Wissensträger bezüglich der Kundendomäne aufgebaut, mit dem Ziel, später im Entwicklungsprozess den PO zu vertreten, wenn dieser nicht verfügbar ist.

In einem anderen Projekt mit einem Entwicklungsaufwand von ca. 20 Personenjahren wurde durch den Kunden eine agile Vorgehensweise vorgegeben. Die Analyse der Problemmerkmale ergab für einen Teil der Problemstellung jedoch einen Anpassungsbedarf am agilen Vorgehen. Die fertige Software sollte in über 50 verschiedenen Organisationen eingesetzt werden und flexibel an deren unterschiedliche Bedürfnisse anpassbar sein (Customizing). Wegen des hohen Gesamtaufwandes und der Diversität der Anforderungen war bei einem agilen Ansatz mit hohem Abstimmungsbedarf zwischen den Entwicklerteams zu rechnen.

Um den Abstimmungsaufwand und ggf. damit verbundene Fehlentwicklungen zu minimieren wurde ein Team gebildet, das mit dem Product Owner einen systematischen Überblick über die Anforderungen für dieses Teilproblem erarbeitet hat. Auf dieser Grundlage wurden Gemeinsamkeiten und Unterschiede in den Customizing-Anforderungen identifiziert und systematisch Problemklassen gebildet. So konnte das Problem in unabhängige Module aufgeteilt und an parallel arbeitende Entwicklerteams übergeben werden.

In beiden Fallbeispielen konnten durch die systematische Vorgehensweise Risiken und Hindernisse im Projekt bereits im Vorfeld erkannt und zuverlässig ausgeräumt werden.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Die vorliegende Arbeit definiert eine systematische Vorgehensweise um einen Entwicklungsprozess passend zu den individuellen Projektgegebenheiten zu gestalten. Die Beispiele verdeutlichen, dass durch diese Vorgehensweise eine Identifizierung und zielgerichtete Auflösung von Hindernissen möglich ist, beispielsweise wenn die Vorgaben des Auftragsgebers nicht zum empfohlenen Prozessparadigma passen. Zu beachten ist, dass die Vorgehensweise bisher nur in wenigen Pilotprojekten erprobt wurde. Eine weitere Überprüfung im Projekteinsatz ist also erforderlich, um die Tragfähigkeit der Vorgehensweise zu validieren.

Aktuell betrachtet die Vorgehensweise die Auswahl des geeigneten Prozessparadigmas und die projektspezifische Prozessanpassung zur Integration des RE. Im nächsten Schritt wird eine systematische Auswahl für einzelne RE-Praktiken in Abhängigkeit des Projektumfeldes behandelt. Für die Zukunft ist zudem eine Erweiterung um einen Maßnahmenkatalog sinnvoll, damit viele Maßnahmen möglichst reproduzierbar abgeleitet werden können. Dieser Katalog könnte gängige Kombinationen an Rahmenbedingungen mit einer empfohlenen Maßnahmenkonstellation und vordefinierte angepasste Prozessmuster enthalten.

Dank

Ein besonderer Dank geht an Prof. Dr. Veronika Thurner (Hochschule München) und Christopher Köster (ARS) für die tatkräftige Unterstützung und fortwährende Betreuung bei der Anfertigung dieser Arbeit. Ferner danke ich der ARS Computer und Consulting GmbH für die Möglichkeit, das im Rahmen des Hochschulstudiums erforderliche Praxissemester dort zu absolvieren sowie eine anwendungsnahe Bachelor-Arbeit zu schreiben.

Literaturverzeichnis

[Be01] Beck, K.; Beedle, M.; van Bennekum, A.; Cockburn, A.; Cunningham, W.; Fowler, M; Grenning, J.; Highsmith, J.; Hunt, A.; Jeffries, R.; Kern, J.; Marik, B.; Martin, R.C.; Mellor, S.; Schwaber, K.; Sutherland, J.; Thomas, D.: , Manifesto for Agile Software Development. agilemanifesto.org/, 2001. Abgerufen am 22.04.2017.

[BGB08] Bygstad, B.; Ghinea, G.; Brevik, E.: Software development methods and usability: Perspectives from a survey in the software industry in Norway. Interacting with Computers, 20(83):375–385, 2008.

[BT03] Boehm, B.; Turner, R.: Using Risk to Balance Agile and Plan-Driven Methods. Computer, 36:57–66, 2003.

[Ce14] de Cesare, S.; Patel, C.; Iacovelli, N.; Merico, A.; Lycett, M.: Tailoring Software Development Methodologies in Practice: A Case Study. Journal of Computing and Information Technology, 16:183–184, 2014.

[HC01] Highsmith, J.; Cockburn, A.: Agile Software Development: The Business of Innovation. Computer, 34(9):120–127, 2001.

[Hi12] Hillenbrand, M.: Funktionale Sicherheit nach ISO 26262 in der Konzeptphase der Entwicklung von Elektrik/Elektronik Architekturen von Fahrzeugen. Dissertation. Karlsruher Institut für Technologie (KIT), KIT Scientific Publishing, Februar 2012.

[HW15] Hastie, S.; Wojewoda, S.: , Standish Group 2015 Chaos Report — Q&A with Jennifer Lynch. www.infoq.com/articles/standish-chaos-2015, Oktober 2015. Abgerufen am 22.04.2017.

[KK13] Kalus, G.; Kuhrmann, M.: Criteria for Software Process Tailoring: A Systematic Review. S. 171–180, 2013.

[Ro14] Rong, G.; Boehm, B.; Kuhrmann, M.; Tian, E.; Lian, S.; Richardson, I.: Towards Context-Specific Software Process Selection, Tailoring, and Composition. S. 183–184, 2014.

[Sa13] Saleh, M. H.: Methodology for Selection of Agile Practices. Master's thesis. American University of Sharjah, United Arab Emirates, June 2013.

[Sc95a] Scrum.org: , The Scrum Guide. https://www.scrumalliance.org/why-scrum/scrum-guide, 1995. Abgerufen am 04.05.2017.

[Sc95b] Scrum.org: , What is Scrum? www.scrum.org/resources/what-is-scrum, 1995. Abgerufen am 22.04.2017.

[SGI02] Standish Group International, Inc.: , What are Your Requirements? 2003 Chaos Top 10. www.standishgroup.com, 2002.

[TU993] TÜV SÜD Industrie Service GmbH, München. RICHTLINIE 93/42/EWG DES RATES vom 14. Juni 1993 über Medizinprodukte, 1993. http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:1993L0042:20071011:de:PDF, abgerufen am 18.06.2017.

[VXT15] Verein zur Weiterentwicklung des V-Modell XT e.V. (Weit e.V.), München. V-Modell XT, version 2.0. Auflage, 2015. www.cio.bund.de/Web/DE/Architekturen-und-Standards/V-Modell-XT/vmodell_xt_node.html, abgerufen am 22.04.2017.

[XR08] Xu, P.; Ramesh, B.: Using Process Tailoring to Manage Software Development Challenges. IT Professional, 10(4):39–45, 2008.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 2511

Evaluation of Interaction Concepts in Virtual Reality Applications

Hanna Holderied[1]

Abstract: Virtual Reality (VR) is widely used nowadays and, therefore, it is important to provide a high usability of this technology. In this paper we evaluate the possibilities of performing device assessment of prototypes of technical objects in VR applications: We designed three different interaction concepts for using the prototypes. We executed a case study in which the participants had to complete the task of brewing a cup of coffee with a virtual coffee machine using these interaction concepts. We observed the participants behavior during the completion of the task with the help of videos and questionnaires. Two of the interaction concepts are controller-based, one is a headset-based gaze pointer. The users of the gaze pointer performed best: They completed the task fastest and rated this concept with the highest usability score. The controller-based concepts were rated lower and the participants completed the task slower. The result of our case study can serve as a potential guideline with usability principles for VR applications concerning the design of controllers and the different interaction concepts.

Keywords: Virtual Reality, Usability, Usability Evaluation, Interaction Concepts, Interaction Design

1 Introduction

Virtual Reality (VR) is finding its way into more and more areas of the daily life. Due to this development, it is important to provide a high usability with this technology to enable a satisfying experience within virtual worlds and their wide variety of applications. The scopes of application are enormous and may provide the possibility of performing device assessment of prototypes of technical objects without having the need to have access to the physical object. Examples are printers, stereos or, like in our case, coffee machines. Therefore, the aim of our work is to find out whether these device assessments can be executed properly in VR applications and which interaction concepts are most suitable for this purpose. This paper sets some basic terms in the beginning, afterwards we embed it into the related work in this area. A description of our interaction concepts for VR as well as of the case study follow, in the end we evaluate and discuss the results.

[1] Georg-August-Universität Göttingen, Institut für Informatik, Goldschmidtstraße 7, 37077 Göttingen, h.holderied@stud.uni-goettingen.de

doi:10.18420/in2017_254

2 Foundations

VR is defined as “an artificial environment which is experienced through sensory stimuli (as sights and sounds) provided by a computer and in which one’s actions partially determine what happens in the environment” [Vir17]. Several different approaches such as CAVEs (Cave Automatic Virtual Environments), headmounted displays or simple devices which display stereoscopic pictures are used to create VRs [DBJ13]. At the beginning of our implementation in October 2016, the HTC Vive [HTC17], the Oculus Rift and the Playstation VR were the only VR headsets that used motion controllers and supported positional tracking [Sh16]. The HTC Vive provided the best 360 degree tracking so we chose a Vive for our case study. It comes with two controllers which allow to interact with the environment. The design of the controller with its buttons and their names can be seen from different angles in Figure 1: The trigger with its two pressure points is on the back of the controller, two grip buttons are positioned on each side. The large trackpad and the menu and system button are on the front of the controller. In VR applications, a virtual representation of the controller, which we call *virtual controller*, is shown on the display of the headset. To interact with the virtual environment, *control elements* such as the controllers or the headset can trigger certain actions. Those actions are called *interaction tasks* and they can only be performed on *interactable objects*: After touching an interactable object it can be grabbed with the control element, be attached to and moved together with it. Those actions correspond and are called *touch* and *grab action*, the latter also includes moving the grabbed object. *Use actions* trigger reactions of the used or a distant object, e.g. if a light switch is used, a light bulb somewhere else might turn on. The *interaction techniques* define how those interaction tasks are executed. For example, it is possible to touch an object by moving a control element close to it or by using raycasting with a laser beam.

For the evaluation of our case study, we used an adapted *System Usability Scale* (SUS). This questionnaire consists of ten different statements concerning several aspects of the usability of the tested system. We slightly changed some statements to allow us to evaluate the usability of the grab and use action. Every statement is rated with a score from 0 (worst) to 10 (best). To evaluate the whole tested system, the SUS score is calculated from the sum of the scores of the individual statements. The SUS score then ranges from 0 (worst) to 100 (best) points. The average SUS score is 69.5 points [BKM09].

3 Related Work

There already has been some research in the field of interaction techniques in immersive virtual environments, especially in late 1990s and early 2000s. During that time, head mounted displays were usually combined with several sensors for tracking a users hand motions [BH99][BH97] and eyes [Ka03], while controller-based input devices were not common. The researchers often had to deal with problems of inaccurate tracking hardware, slow system responses, and a high latency in general [Ko03]. This made it impossible to



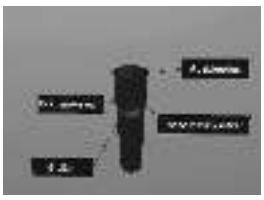
Fig. 1: The design of a controller of the HTC Vive with its buttons and their names.

focus completely on the interaction concepts and the results might have been distorted. The focus of most case studies lies on the interaction task of grabbing and moving objects, especially distant ones [BH99][BH97]. Several techniques were developed from usability tests which showed that ray-casting and extension of the users arms are not ideal for a good usability [BH99]. The result were techniques such as HOMER (Hand-centered Object Manipulation Extending Ray-casting) which uses ray-casting for the selection and grabbing of the objects. The grabbed object is then attached to a virtual hand and can be manipulated with the help of this hand (hand-centered manipulation) [BH97].

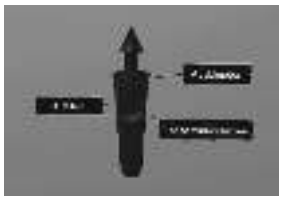
In [Sc02], several User Interface Concepts of Augmented Reality (AR) Systems are evaluated. This topic is closely related to our approach of undertaking case studies for usability engineering [Sc02]: In their approach, Schmidt et al. applied the methods of using questionnaires, interviews, observing the users interaction, and thinking aloud. They described them as ideal to get a detailed evaluation of the system. For our procedure, especially the recording of the results, we used this approach of Schmidt et al. as a guideline. After the early 2000s, there has not been much research in this area.

4 Interaction Concepts

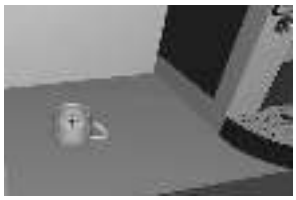
In this paper, we implemented three interaction concepts to evaluate their usability. We call them laser controller, arrow controller and gaze pointer. Both the laser and the arrow concept use one controller as control elements while the gaze pointer is headset-based. VR offers the usage of tooltips on the virtual controllers. Tooltips are small labels that are connected to a button of the virtual controller. A text on the label describes the buttons functionality in one or two words. Our two controller-based concepts use tooltips. The interaction concepts are shown in Figure 2. Other implementations and key assignments are possible, but based on recent VR applications we decided for the following specifications for our case study.



(a) The laser controller with its four tooltips, the green laser beam is enabled.



(b) The arrow controller with its three tooltips, an arrow is attached to its front.



(c) The cross-hair of the headset-based gaze pointer in front of the green colored cup.

Fig. 2: The appearance of controller-based interaction concepts laser controller (a) and arrow controller (b) and of the headset-based gaze pointer (c). The tooltips of the controller-based concepts are the black labels that describe the functionality of the related button.

4.1 Laser Controller

For the laser controller, a laser beam can be used to point at and use objects in the VR. The laser beam radiates from the top of the virtual controller and can be activated by pulling the trigger to the first pressure point. Four controller tooltips (see Figure 2a) describe the controller functionality in this concept:

- *Ausblenden (Hide)* on the menu button: toggle controller tooltips
- *Pointer/Auswahl (Pointer/Selection)* on the trigger: enable laser beam (first pressure point) and trigger use actions (second pressure point)
- *Tasse zurücksetzen (Reset cup)* on the trackpad: reset scene to its original state
- *Greifen (Grab)* on grip buttons: grab a grabbable object

To touch an interactable object, the controller has to be moved close to the object until its surface collides with the surface of the other object. In this concept, the controller moves through the touched interactable object. After touching an object, two things happen to indicate that the object can be grabbed:

- The touched object changes its color.
- The tooltip text of the tooltip *Greifen (Grab)* changes from white to red.

Both effects can be seen on Figure 3a with the arrow concept, which behaves identically in this case. The text color of the left controller tooltip has become red and the originally white cup has colored grey. While the controller touches a grabbable object, it can be grabbed by pressing the grip buttons. After an object has been grabbed, the tooltip text of the grip buttons changes from *Greifen (Grab)* to *Loslassen (Release)* to indicate that the object can be released by pushing the grip buttons again. The laser beam in this interaction concept triggers use actions. When the laser beam is activated and then hits a usable object, the object changes its color to green (see Figure 3b). It changes to its original color when the

laser beam is moved away. To trigger a use action when an object is green, the user needs to pull the trigger to the second pressure point and release it afterwards.

4.2 Arrow Controller

In the arrow concept the virtual controllers have an arrow attached at the front. This arrow indicates that the controller can be directly used to point at things and to trigger use actions without the need to push buttons on the controller. As a consequence, the arrow controller uses only three tooltips (see Figure 2b):

- *Ausblenden (Hide)* on the menu button: toggle controller tooltips
- *Tasse zurücksetzen (Reset cup)* on the trackpad: reset the scene
- *Greifen (Grab)* on the trigger: grab a grabbable object

Touching objects with this interaction concepts works similar to the laser concept: the controllers surface has to collide with an interactable object which will highlight after it is touched. In contrast to the laser controller, the arrow controller does not move through objects when they are touched but pushes them away. On the one side this should emphasize the possibility to use the controller similar to a hand without pressing buttons. On the other side this should provide a more realistic feeling because this is the behavior that would be expected in a real, i.e. non-virtual, world. In this interaction concept, the grab action is triggered by pulling the trigger instead of pressing the grip buttons while a grabbable object is being touched (see Figure 3a). Another difference to the laser concept is that the object is attached as long as the trigger is being pulled. As soon as it is released, the object will be detached. The adjustment in color of the controller tooltips is the same as for the laser controller. When the tip of the controller is moved closer than a predefined threshold distance to usable objects, the closest object to the arrow will be colored green (see Figure 3c). This indicates which object will be used if the controller is moved closer. The use action itself is triggered when the tip of the arrow hits the green object. This behavior should simulate the behavior of a hand in the real world, where the arrow is the index finger which interacts with an object by pushing it.

4.3 Gaze Pointer

The gaze pointer can interact with the environment with a cross-hair that is positioned in the field of view of the user. To start the equivalent action of touching an interactable object, the cross-hair needs to be in front of it (see Figure 2c). After targeting at an interactable object it starts to change its color slowly from its original color to green as visible in Figure 2c. As soon as an object is looked at for a threshold time of two seconds, the object changes its color completely and the grab action is triggered. The grabbed object is then attached to the cross-hair and moves along with it. To release a grabbed object in this interaction

concept the user has to break the force that attaches the object to the cross-hair. This can be achieved by slightly moving it into another object. Another variant is that the object has a defined destination into which it automatically snaps if a certain distance to the position is reached. The use action works similar to the grab action: to trigger a use action a usable object has to be targeted for a predefined threshold time of two seconds with the cross-hair. When a usable object like a button of a coffee machine is being targeted, it changes its color to green first. During the next two seconds it slowly becomes red and at the end of the time span, the use action is executed.

To simplify the placing of the objects, we implemented a feature that supports the users in all interaction concepts: When an object is being moved into a predefined area with a controller-based concept, the color of the tooltip text that says “Loslassen” (“Release”) changes from white to red. This indicates that the object should be released there and will be placed correctly. With the gaze pointer, the object automatically detaches and places itself on the right spot when it enters the correct area.



(a) The grab action with the arrow controller: when an interactable, grabbable object (cup) is touched, the tooltip text color changes from white to red.



(b) The laser controller with the activated laser beam, a tooltip (pictogram of an empty cup) of a usable object (coffee machine button) is activated.



(c) The arrow controller in front of a button, the tooltip (“milder Kaffee”) of the closest usable object (left button of the coffee machine) is enabled.

Fig. 3: The grab (a) and use actions (b, c) of the laser (b) and arrow controller (a, c).

5 Case Study

To evaluate the interaction concepts, we performed a case study. The setup of this case study is described in the following section followed by the results. Afterwards, we discuss the results and the threads to validity.

5.1 Setup

In this case study, we set up a virtual room. It consists of two main objects as shown in Figure 4: A cup and a coffee machine which are both located on a bureau. The users task in this room is to grab the cup and place it at the correct position on the coffee machine. Afterwards, one of the buttons of the coffee machine which brews coffee has to be activated.

Three buttons accomplish this task: one for mild coffee, one for strong coffee and one that brews two cups of coffee (framed red in Figure 4). We decided for a coffee machine because the task of brewing coffee consist of several sub tasks and therefore covers a wide variety of the available actions in VR. Furthermore, the real coffee machine is easy to transport for the control group study and it can be assumed that most people have some experiences in using coffee machines.

For carrying out the case study, an interaction concept is randomly selected by the application for every participant. The interactable objects in this case study are the cup, which is grabbable, and the buttons of the coffee machine, which are usable. To perform this task, the users have to use the touch, grab, and use action of the three interaction concepts. The touch and grab action are used for moving the cup and the use action for pushing the buttons of the coffee machine.

For documenting our case study, we used several methods such as combining logging and recording videos of the screen with the picture that the participant saw in the VR. We also asked the participants to answer a SUS questionnaire which we slightly adapted to differentiate between grab and use actions. A data set of the recordings and results can be found at `https://doi.org/10.5281/zenodo.571138`.

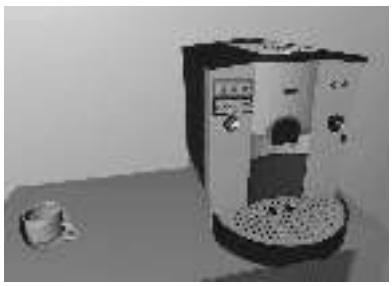


Fig. 4: The experimental setup: the cup and the coffee machine. The buttons that brew coffee are framed red.

66 participants took part in our case study. Every interaction concept was used 22 times. The majority of our participants was male (72.3%), only 27.7% were female. Furthermore, our participants were relatively young: 21.2% were younger than 15 and only 15.2% older than 35 years, in between the distribution was equal. 43.9% of our participants claimed that they have no previous experience with VR, only 18.2% stated that they are “very experienced”.

We executed a similar case study with a control group for the device assessment of the coffee machine itself. This enabled us to distinguish between the usability problems of the interaction concepts in VR and the design problems of the coffee machine revealed by the device assessment. In contrast to our experimental group, the control group had to use the real coffee machine while the task remained the same: The participants in this group were also asked to brew a cup of coffee. The real coffee machine served as a blueprint for the virtual one and had, hence, the same functionality and design. This control group study was

less formal. We explained the task to the participants and asked them to brew a cup of coffee while telling their thoughts. The participants were observed and their behavior documented in form of short notes. The control group consisted of seven people from twenty to seventy years old, both male and female.

5.2 Results

System Usability Scale. The overall mean SUS score of our case study is 64.9, which is slightly lower than the average score of 69.5. The gaze pointer reached the highest score in most statements and in total (68.9), while the arrow concept was rated worst (59.5). The arrow concept ranks in between with a total score of 66.1. Our adapted SUS contained a statement for each the intuitiveness of the grab and use action. The results of those two statements for every interaction concept can be seen in Table 1. For the gaze pointer, both statements were rated best of all three interaction concepts. For the arrow concept, they were rated worst.

	Laser Concept		**Arrow Concept**		**Gaze Pointer**	
Question	**Mean**	**SD**	**Mean**	**SD**	**Mean**	**SD**
Grab intuitive	6.14	3.16	5.00	3.45	6.25	3.92
Push button intuitive	5.34	3.21	5.11	3.13	6.93	3.69
Mean/Total	66.14	39.37	59.48	47.13	68.94	35.84

Tab. 1: Results of the System Usability Scale for the statements concerning the intuitiveness of the grab and use action from all three interaction concepts. Comparison of the statements between each concept: maximum (green) and minimum (red) means highlighted.

Video Analysis. With the help of the videos we were able to measure the duration the participants needed to complete different sections of the task. We divided the task into sections: overall duration from start to completion, from start to grabbing the cup, from grabbing the cup to placing it, from a placed cup to seeing the upper buttons and from that point of time to fulfilling the task. The results of this analysis can be found in Figure 5, where the timespans needed to complete the sections are shown according to the interaction concepts. The x-axis shows the different sections of interactions while the y-axis shows the time in seconds. The bars represent the interaction concepts. The gaze pointer users performed fastest in the overall completion of the task as well as in the sections of grabbing the cup and seeing the upper buttons. In contrast, the users of the controller-based concepts were faster in the placing of the cup.

Furthermore, the video analysis allowed us to figure out general and interaction concept specific problems. The general problem that occurred most often is that 14 participants did not see the row of upper buttons that is used to brew coffee, but only the lower left buttons. The problems with the laser controller are diverse: As far as the grab action is

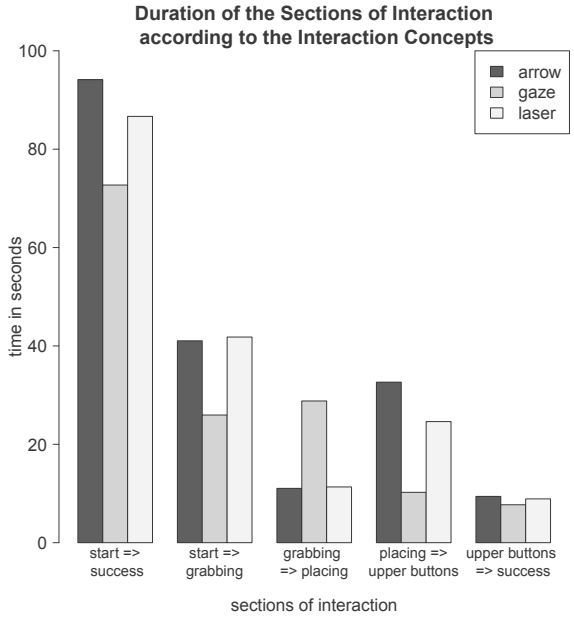


Fig. 5: The duration needed to complete the different sections of the task.

concerned, seven users tried to grab the cup by pressing the trackpad or trigger instead of the grip buttons. The release of the cup was also difficult for seven participants because they held the grip buttons during the grab and did not realize they had to press the buttons again to release the cup. For the use action, two other problems occurred with the laser controller: Ten participants tried to trigger the use action on the coffee machine by moving the controller closer to its buttons. Another six participants pressed the trackpad to trigger the use action, which led to a reset of the cup. For grabbing the cup with the arrow controller, nine participants pressed the trackpad to trigger this action. Another eleven participants tried to trigger the use action on the coffee machine by either pressing the trackpad or pulling the trigger. The only problem that occurred more than twice with the gaze pointer is that the cup was detached from the cross-hair more than five times for five participants because the participants broke the force that bound the cup to the cross-hair.

Control Group. It took the participants of our control group between ten to thirty seconds to complete the given task. As for the qualitative aspects, they had one main problem: The meaning of the pictogram on the top left button which shows an empty cup meaning “mild coffee” did not seem clear to most of the participants. Due to that, they chose to press the next button with a pictogram of a full coffee cup and therefore brew a strong coffee.

5.3 Conclusion

Based on our evaluation of the SUS score and the video analysis, the gaze pointer performed best and its users completed the task fastest. The arrow concept ranked lowest and therefore is least usable. The difficulties that arose with the control group do not intersect with the problems of the experimental group. The only problem of the control group with the design of the pictogram of the top left button did not occur in the experimental group. Therefore it can be concluded that the usability problems that occurred with our application are caused by the interaction concepts with the VR and not by the design of the coffee machine. This also leads to the conclusion that our interaction concepts need to be improved before VR-assisted device assessment reveals the same usability problems as the real coffee machine. Due to the lack of similar research, we cannot compare our results with other approaches. The following section presents our results for improving the interaction concepts.

Grab Action. The grab action with the laser concept received higher SUS scores than the arrow concept, but it took the participants with this concept slightly longer to complete it. These results can partially be explained with the design of the rigidness of the cup. As it can be observed in the videos, a lot of participants pushed the cup because the arrow controller did not move through it as it did with the laser concept. Therefore, the controller should not be rigid and push grabbable objects around. Furthermore, the participants expected to trigger the grab action by pressing the trackpad (arrow concept) or the trackpad and trigger (laser concept). Both buttons seem to be the most prominent buttons of the controllers and therefore are tried first for interactions. In consequence, it took the laser concept group longer to find the correct button for the grab action (grip buttons) than the arrow concept group (trigger). Grab actions should therefore be triggered by pressing a prominent button like the trackpad or trigger. Due to the lack of pressing wrong buttons, no obvious mistake could be observed for the gaze pointer. The high score of the SUS statement concerning the intuitiveness of the grab action and the short completion times with the gaze pointer indicate that less is better: Less controllers and buttons increase the usability of an interaction.

Use Action. Similar to the grab action, the use action should be triggered by the usage of a prominent button. The lack of a tooltip that told the users of the arrow concept how to activate a button of the coffee machine might have led them to try to press any controller button to get the desired result. On the other side, ten users of the laser concept wanted to activate the coffee machine by pressing no button at all but by moving the controller close to the coffee machine as it would have worked with the arrow concept. Therefore, it is up to the developer to decide whether use actions should be triggered by pressing a prominent button or by moving a controller closer to the object that should be used. If the latter is chosen, the controller design, e.g. with an arrow that “points” somewhere, should indicate this behavior and display the threshold that will trigger the action. The use action of the gaze pointer is very similar to the grab action.

Placing the Cup and Seeing the Upper Buttons. For placing the cup, the participants with the controller-based interaction concepts had little difficulties and accomplished the task much faster than the gaze pointer users. One problem that occurred seven times with the laser concept concerns the release of the cup: Pressing the grip buttons twice, once for grabbing and once for releasing an object, seems to be less intuitive than pressing them just once. A grabbed object should therefore stay attached as long as the grab button is pressed to mimic real world behavior. The problem of the too quickly detaching cup with the gaze pointer could be solved by increasing the force that binds a grabbed object to the cross-hair. Furthermore, the space between the object and its aim should be left free so that the cup cannot hit other objects.

In the subtask of seeing the upper buttons of the coffee machine, the arrow concept users were significantly slower than all other users. This could be explained by the positioning of the coffee machine buttons: After placing the cup, the controller had to be moved upwards to the correct buttons of the coffee machine. The buttons closest to the placed cup where the lower ones. As a consequence, the participants tried to interact with those buttons. Within the laser concept, this problem did not occur because the controller was usually held further away from the coffee machine. This allowed the participants to watch the whole coffee machine and due to this, they saw the upper buttons as well. The users of the gaze pointer were fastest to see the upper buttons. This might be due to the reason that the gaze pointer is based on looking at objects closely.

5.4 Threats to Validity

Several circumstances may have distorted the results of our case study and due to that some of the results have to be regarded critically. The distribution of the interaction concepts was not perfect even among our participants with their different preconditions. Interviews and the thinking aloud technique might have helped to get a better insight in the participants process of dealing with the given task by telling their exact thoughts and problems. In addition, our controller layout was chosen with care but still there might be better usable ways to configure the controller. For example, we did not implement a controller-based grab action using a laser beam and similar to this, other combinations can be imagined.

6 Summary and Outlook

In this paper, we defined three concepts for interacting with virtual prototypes of technical devices in a VR. Two concepts are controller-based and one gaze-pointer based. The concepts can be used when performing VR-based device assessment of technical prototypes. We evaluated the usability of the interaction concepts in a case study. In general, the gaze pointer performed best as far as both the completion time of the task and the SUS score are concerned. This can be affiliated to its minimalist design with no need to learn how to use

the controllers. The controller-based arrow concept performed worst, for the completion time as well as for the SUS score. The reason can be found in the design of the controller and the grab and use action. Hence, for performing device assessment of prototypes of technical objects in VR, the design of the interaction concepts needs to be chosen with care.

An interesting topic for further research is to evaluate how controller-based interaction techniques can be improved further, or if controllers can be replaced with other devices such as the Leap Motion [Lea17]. The Leap Motion is a small device that can be attached to the front of the headset of the HTC Vive. It tracks the users hand motions and creates a hand model that is displayed on the screen of the Vive headsets.

7 Acknowledgments

I would like to offer my special thanks to Dr. Patrick Harms for guiding me in writing my first scientific paper. Additionally, my thanks are extended to the group Software Engineering for Distributed System with its head Prof. Dr. Jens Grabowski for providing the hardware.

References

[BH97] Bowman, Doug A.; Hodges, Larry F.: An Evaluation of Techniques for Grabbing and Manipulating Remote Objects in Immersive Virtual Environments. In: Proceedings of the 1997 Symposium on Interactive 3D Graphics. I3D '97, ACM, New York, NY, USA, pp. 35–ff., 1997.

[BH99] Bowman, Doug A.; Hodges, Larry F.: Formalizing the Design, Evaluation, and Application of Interaction Techniques for Immersive Virtual Environments. J. Vis. Lang. Comput., 10(1):37–53, 1999.

[BKM09] Bangor, Aaron; Kortum, Philip; Miller, James: Determining What Individual SUS Scores Mean: Adding an Adjective Rating Scale. J. Usability Studies, 4(3):114–123, May 2009.

[DBJ13] Dörner, Ralf; Broll, Wolfgang Grimm, Paul; Jung, Bernhard, eds. Virtual und Augmented Reality (VR/AR). eXamen.press. Springer Vieweg, Berlin, 2013.

[HTC17] HTC Vive. Website, 2017. https://www.vive.com/, March 12th, 2017.

[Ka03] Kaiser, Ed; Olwal, Alex; McGee, David; Benko, Hrvoje; Corradini, Andrea; Li, Xiaoguang; Cohen, Phil; Feiner, Steven: Mutual Disambiguation of 3D Multimodal Interaction in Augmented and Virtual Reality. In: Proceedings of the 5th International Conference on Multimodal Interfaces. ICMI '03, ACM, New York, NY, USA, pp. 12–19, 2003.

[Ko03] Koutek, Michal: Scientific Visualization in Virtual Reality: Interaction Techniques and Application Development. PhD thesis, University of Praque, May 2003.

[Lea17] Leap Motion. Website, 2017. https://www.leapmotion.com/, April 30th 2017.

[Sc02] Schmidt, L.; Oehme, O.; Wiedenmaier, S.; Beu, A.; Quaet-Faslem, P.: Usability Engineering für Benutzer-Interaktionskonzepte von Augmented-Reality-Systemen. Informationstechnik und technische Informatik, 44(1):31–39, 2002.

[Sh16] Shanklin, Will: , 2016 VR Comparison Guide. Website, 2016. http://newatlas.com/best-vr-headsets-comparison-2016/45984/, June 19th, 2017.

[Vir17] Virtual Reality - Definition. Website, 2017. https://www.merriam-webster.com/dictionary/virtual/%20reality, March 05th, 2017.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 2525

Perception Virtuality

Isabel Hagen[1]

Abstract: Das Eintauchen in virtuelle Welten fasziniert die Menschen schon seit langer Zeit. Um ein vollständiges Eintauchen in die virtuelle Welt zu ermöglichen, muss durch eine gesteigerte Immersion eine Präsenz des Benutzers in der virtuellen Welt erzeugt werden. Bisherige virtuelle Anwendungen sind oft kabelgebunden und verwenden nur ein lokales, ortsgebundenes Tracking des Benutzers. Dadurch ist der Benutzer an ein definiertes Umfeld gebunden und in seiner Bewegungsfreiheit eingeschränkt. Als Folge wird die Präsenz in der virtuellen Welt gestört. In der vorliegenden Arbeit wird daher die Anwendung Perception Virtuality vorgestellt. Perception Virtuality soll die Selbstwahrnehmung sowie die Wahrnehmung der virtuellen Welt verbessern und dadurch eine höhere Präsenz des Benutzers in der virtuellen Welt erzeugen. Dafür wird die mobile Trackinganwendung Perception Neuron in Kombination mit einer Samsung Gear VR verwendet. Als Ergebnis wird eine gesteigerte Immersion durch Perception Virtuality erzeugt. Dies erfolgt anhand eines freien, ortsungebundenen Trackings des Körpers und einer Übertragung der Körperbewegungen auf einen virtuellen menschlichen Körper. Durch das Tragen der Samsung Gear VR kann der Körper und dessen Bewegungen von dem Benutzer in einem virtuellen Spiegel betrachtet werden.

Keywords: Virtuelle Realität; Tracking; Head-Mounted Displays; Immersion

1 Einleitung

Sutherland beschreibt bereits 1965 die Faszination, eine virtuelle Welt zu erleben und sich in dieser zu bewegen. Seither ist die Entwicklung von virtuellen Welten immer weiter fortgeschritten. Eine perfekte virtuelle Welt erzeugt dabei alle Sinneseindrücke des Benutzers durch einen Computer [Dö13]. Dabei wirken die Sinneseindrücke genau in dem gleichen Maß auf den Menschen, wie dieser sie aus der realen Welt kennt [Dö13].
Die virtuelle Welt stellt dabei eine Schnittstelle zwischen Mensch und Maschine dar. Je realistischer sich diese virtuelle Realität für den Benutzer anfühlt, desto realitätsnaher kann der Benutzer in dieser Handeln. Dies ist die Voraussetzung, um bspw. Forschungen über die menschliche Wahrnehmung in der virtuellen Realität zu machen, Prototypen in der industriellen Fertigung zu entwerfen und Schulungen durchzuführen. [Dö13]
Damit sich der Benutzer vollständig in der virtuellen Welt fühlt, obwohl er sich physisch an einem anderen Platz befindet, muss eine Präsenz erzeugt werden. Dafür wird in dem Benutzer das subjektive Gefühl erweckt, sich in der virtuellen Welt zu befinden und in diese einzutauchen. Für die Erzeugung einer hohen Präsenz ist es wichtig, eine hohe Immersion

[1] Hochschule Reutlingen, Fakultät Informatik, Alteburgstraße 150, 72762 Reutlingen, Deutschland isabel.hagen@student.reutlingen-university.de

doi:10.18420/in2017_255

zu erzeugen. Immersion beschreibt dabei den Grad des Eintauchens in die virtuelle Welt, welcher durch Stimulationen der menschlichen Wahrnehmung erzeugt wird. Dabei besteht ein verstärkender Zusammenhang zwischen dem Grad der Immersion und der Präsenz. Je höher der Grad der Immersion ist, desto höher ist die Präsenz, welche der Benutzer in der virtuellen Welt erfährt. [DS13]
In der vorliegenden Arbeit wird eine Anwendung entworfen, welche die Präsenz in der virtuellen Welt steigert und somit dem Benutzer ein realitätsnahes Handeln in der virtuellen Welt ermöglicht.

1.1 Motivation und Ziel der Arbeit

Bisherige virtuelle Anwendungen erlauben kein freies, ortsungebundenes Tracking in Verbindung mit einer virtuellen Anwendung. Dadurch ist es dem Benutzer nicht möglich, ortsungebunden die virtuelle Anwendung zu benutzen. Der immersive Effekt durch Tracking kann daher nur ortsgebunden stattfinden. Als Folge können Anwendungen von Universitäten oder Hochschulen nicht mobil auf externen Veranstaltungen oder in anderen Laboren gezeigt werden, ohne dabei auf das Tracking zu verzichten. Zudem besteht das Problem, dass die meisten virtuellen Anwendungen momentan kabelgebunden sind. Eine freie Bewegung des Benutzers ist daher nicht möglich, da dieser an das feste Trackingumfeld gebunden ist. Dies hat zur Folge, dass der Benutzer immer wieder daran erinnert wird, sich nur in einer virtuellen Welt zu befinden. Als Folge wird die Präsenz in der virtuellen Welt gestört. Bei vielen virtuellen Anwendungen werden zudem nur Teile des Körpers getrackt und in die virtuelle Welt übertragen. Ein realitätsnahes Handeln ist somit für den Benutzer nicht möglich. Dadurch fühlt sich der Benutzer nicht mehr vollständig präsent in der virtuellen Welt und der immersive Effekt der Anwendung wird gestört.
Ziel ist deshalb eine mobile Anwendung zu schaffen, welche die Immersion und damit die Präsenz in der virtuellen Welt steigert und negative Begleiterscheinungen minimiert.

1.2 Anforderungen an die Anwendung

Für die Zielerreichung in Kapitel 1.1 können Anforderungen an die Anwendung formuliert werden. Die Anwendung soll eine mobile Anwendung sein.
Daraus ergeben sich die Anforderungen: (1) Die Anwendung soll einfach zu transportieren und (2) kabellos sein. (3) Zudem soll die Anwendung ortsungebunden sein.
Durch das Ziel, dass die Präsenz des Benutzers durch Immersion in der virtuellen Welt gesteigert werden soll, ergeben sich die folgenden Anforderungen: (1) Die Bewegungen des Benutzers sollen auf einen virtuellen, menschlichen Körper übertragen werden. (2) Das Tracking und die Übertragung der Bewegung auf den virtuellen Körper sollen in Echtzeit geschehen. (3) Der Benutzer soll sich durch die virtuelle Welt bewegen können. Das Echtzeittracking sowie das Bewegen in der virtuellen Welt stellen zudem eine Anforderung dar, um Cybersickness zu verhindern.

1.3 Aufbau der Arbeit

Diese Arbeit ist in insgesamt fünf Teile gegliedert. Im ersten Teil wird die Motivation sowie das Ziel der Arbeit beschrieben und anschließend Anforderungen an die Anwendung abgeleitet. Im zweiten Teil dieser Arbeit wird der Stand der Technik beschrieben. Dabei wird auf die bekanntesten Head-Mounted Displays sowie auf verschiedene Trackingsysteme eingegangen. Anschließend werden kombinierte Anwendungen aus Head-Mounted Displays und Tracking vorgestellt. Im dritten Teil dieser Arbeit wird die Umsetzung der Anwendung Perception Virtuality beschrieben. Dabei wird zuerst auf die verwendeten Technologien sowie die Datenübertragung eingegangen und anschließend Elemente zur Steigerung der Immersion beschrieben. Zuletzt wird in diesem Teil die mobile virtuelle Abwendung vorgestellt. Im vierten Teil dieser Arbeit erfolgt die Bewertung von Perception Virtuality bezüglich der erfüllten Anforderungen. Im fünften Teil erfolgt ein zusammenfassendes Fazit sowie ein Ausblick auf weiterführende Arbeiten.

2 Stand der Technik

Nachfolgend werden als Stand der Technik zuerst Head-Mounted Displays, anschließend Trackingsysteme und zuletzt kombinierte Systeme aus Head-Mounted Displays und Tracking, vorgestellt.

2.1 Head-Mounted Displays

Damit der Benutzer eine virtuelle Welt erleben kann, wird ein geeignetes, visuelles Ausgabegerät benötigt. Mit diesem Ausgabegerät soll der Benutzer die virtuelle Welt ähnlich wahrnehmen wie die reale Welt [Gr13b]. Head-Mounted Displays zeichnen sich dadurch aus, dass sie am Kopf des Benutzers in Form eines Helmes oder einer Brille angebracht sind [Gr13b]. Bekannte Head-Mounted Displays sind die Oculus Rift, die Playstation VR sowie die Samsung Gear VR.
Die Oculus Rift ist ein Head-Mounted Display der Firma Oculus VR. Dieses ist über USB-Kabel sowie über ein HDMI-Kabel mit einem Rechner verbunden [Di16]. Die Oculus Rift verfügt über ein OLED-Display und hat ein Blickfeld von 110 Grad [Di16]. Zudem verfügt die Oculus Rift für das Kopftracking über einen Beschleunigungsmesser, ein Gyroskop und ein Magnetometer [Di16].
Die PlayStation VR ist ein Head-Mounted Display der Firma Sony [So16]. Sie verfügt über ein OLED-Display mit 5,7 Zoll und einem Sichtfeld von 100 Grad [So16]. Für das Kopftracking hat die PlayStation VR einen integrierten Beschleunigungsmesser sowie ein Gyroskop [So16]. Die PlayStation VR wir über ein USB-Kabel und über ein HDMI-Kabel mit der Konsole verbunden [So16].
Die Samsung Gear VR ist ein Head-Mounted Display der Firma Samsung. Die Besonderheit

der Gear VR gegenüber den bisher anderen aufgeführten Head-Mounted Displays ist, dass die virtuellen Anwendungen von einem Samsung Smartphone gestartet werden. Dieses Smartphone wird in das Head-Mounted Display eingelegt und gibt die virtuelle Anwendung wieder. Dabei ist das Smartphone über eine eingebauten microUSB 1.1-Verbindung mit der Gear VR verbunden [Sa16]. Da die VR-Anwendung auf dem Smartphone läuft, ist die Gear VR nicht auf einen Rechner angewiesen und damit kabellos bedienbar. Für das Tracking der Kopfbewegung besitzt die Gear VR einen Beschleunigungsmesser, Gyroskop, Magnet-Sensor und einen Näherungssensor [Sa16]. Die Verzögerung zwischen der Bewegung des Kopfes und der Darstellung in der virtuellen Anwendung beträgt dabei unter 20 ms [Sa16].

2.2 Tracking-Systeme

Um die Position des Benutzers im Raum zu bestimmen und dessen Körper zu erfassen, wird ein Tracking benötigt. Es wird nachfolgend unterschieden zwischen dem optischen Tracking, dem elektromagnetischen Tracking, dem mechanischen Tracking und dem Inertial-Tracking. Beim optischen Tracking handelt es sich um ein sehr genaues Verfahren. Die Idee des optischen Trackings ist, mit Videokameras Objekte aufzunehmen und anschließend die relative Position und Orientierung dieser Objekte zur Kamera zu bestimmen [HZ00]. Im optischen Tracking wird zwischen dem markenbasierten und dem markenlosen Verfahren unterschieden [Gr13a]. Beim markenlosen Verfahren wird durch Verfahren der Computer Vision, Eigenschaften aus dem Videostrom extrahiert und über die Einzelbilder des Videostroms verfolgt [Gr13a]. Beim markenbasierten Verfahren werden gut erkennbare Marker verwendet, die im Videostrom schnell gefunden werden können [Gr13a].
Beim elektromagnetischen Tracking, wird mit Hilfe von stromdurchflossenen Spulen, Magnetfelder aufgebaut [Gr13a]. Die induzierten Ströme des Magnetfeldes werden für die Bestimmung der Position und der Orientierung im Magnetfeld verwendet [Gr13a].
Beim mechanischen Tracking wird die Bewegung des Benutzers über eine Mechanik aufgenommen [Gr13a]. Die genaue Messung der Bewegung erfolgt dabei über die Berechnung der Winkel an den Gelenken der mechanischen Konstruktion [Gr13a].
Das Inertial-Tracking basiert auf Trägheits- und Beschleunigungssensoren [Gr13a]. Inertialsensoren messen dabei die Beschleunigung entlang einer Achse [Gr13a]. Gyrosensoren messen dagegen die Beschleunigung um eine Achse [Gr13a]. Dies bedeutet, dass die Rotationen um die x- sowie um die y-Achse erfasst werden [Gr13a]. Für Messungen von beweglichen Objekten werden drei orthogonal zueinander positionierte Sensoren verbaut [Gr13a]. Auf Grundlage der drei orthogonal zueinander stehenden Sensoren kann durch Integration der Geschwindigkeit die Position berechnet werden [Gr13a]. Inertial-Tracking eignet sich besonders, um Gelenkstellungen zu erfassen [Gr13a]. Eine bekannte Trackinganwendung, welche auf dem Intertial-Tracking basiert, ist Perception Neuron [Pe16]. Perception Neuron ist eine Anwendung der Firma Noitom [Pe16]. Perception Neuron wird für das Motion Capturing verwendet und zeichnet sich durch eine geringe Latenz-Zeit aus [Pe16]. Bei dieser Trackinganwendung wird jedoch zusätzlich zu den Inertialsensoren und den Gyrosensoren noch Magnetometer verwendet [Pe16].

2.3 Kombinierte Systeme aus HMD und Tracking

Die HTC Vive stellt ein typisches kombiniertes System aus Tracking und Head-Mounted Display dar. Der Head-Mounted Display besitzt ein OLED Display mit einem Sichtfeld von 110 Grad [Di16]. Dabei findet ein Tracking des Kopfes, wie auch ein Tracking von zwei Controllern statt [SS15]. Das Head-Mounted Display der HTC-Vive ist dabei über HDMI-Kabel und USB-Kabel mit einem Rechner verbunden [Di16]. Die beiden Controller sind dagegen kabellos. Das Tracking wird über Lighthouse realisiert [SS15]. Bei Lighthouse handelt es sich um ein optisches Trackingsystem, bei welchem zwei Basisstationen an gegenüberliege Seiten des Tracking-Raums gestellt werden [SS15]. Damit ist es sowohl möglich die Position des Spielers im Raum zu bestimmen, als auch die beiden Controller zu tracken. Der Nachteil dieser Anwendung ist, dass diese nicht kabellos und ortsungebunden angewendet werden kann.
Wissenschaftliche Ansätze zu einem kabellosen Gesamtsystem, bestehend aus mobilen Tracking und einem Head-Mounted Display, zeigen Royston et al. [RDP16]. Bei ihrem Ansatz wird die Gear VR mit einem Handtracking auf Basis der Perception Neuron Anwendung sowie ein Positionstracking auf Basis von OptiTrack verwendet [RDP16]. Dabei wollen sie kollaborative Analyse und Visualisierung von Daten mit virtuellen Techniken verknüpfen [RDP16].
Insgesamt kann an dieser Stelle festgestellt werden, dass bereits wissenschaftliche Ansätze für mobiles, kabelloses Tracking in Verbindung mit einem kabellosen VR-Ausgabegerät gibt. Allerdings gibt es bisher keine mobile Komplettlösungen.

3 Umsetzung von Perception Virtuality

Nachfolgend werden in diesem Kapitel alle relevanten Entwicklungsschritte für die Anwendung Perception Virtuality beschrieben.

3.1 Verwendete Technologien

Um eine mobile, ortsungebundene Anwendung zu realisieren, wurde in Perception Virtuality der Perception Neuron Anzug, die Samsung Gear VR, das Smartphone Samsung Galaxy S6 Edge sowie verschiedene Softwareanwendungen verwendet.

Perception Neuron:
Wie bereits in Kapitel 2.2 beschreiben, handelt es sich bei Perception Neuron um ein Inertial-Tracking basiertes System zur Bewegungsverfolgung (f. Motion Capturing) [Ba15]. Der Anzug (vgl. Abbildung 1) besteht dabei aus 32 Sensoren, die Neuronen genannt werden [Ba15]. Jedes Neuron misst dabei die eigene Orientierung und Beschleunigung [Ba15]. Dafür wird ein Gyroskop, ein Magnetometer und ein Beschleunigungsmesser verwendet [Ba15]. Die Neuronen sind miteinander verbunden und werden am Kopf, an den Schultern,

an den Oberarmen, an den Handgelenken, den Fingern, der Hüfte, den Oberschenkeln, den Schienbeinen und an den Füßen angebracht [No15].



Abb. 1: Der Perception Neuron Anzug [17j]



Abb. 2: Samsung Galaxy S6 Edge und Samsung Gear VR

Die gemessenen Daten der Neuronen werden zu einem Hub gesendet, der ebenfalls am Körper des Benutzers angebracht ist [Ba15]. Der Hub sendet die Daten anschließend über eine USB-Verbindung oder über Wifi zu einem Rechner, auf dem die Software Axis Neuron läuft [Ba15]. Axis Neuron verarbeitet die Daten, optimiert und korrigiert diese [Ba15]. Mit diesen aufbereiteten Daten wird anschließend ein menschliches Skelett mit 59 Knochen erstellt [Ba15].

Samsung Gear VR und Samsung Galaxy S6 Edge:
Als VR-Brille wird im Projekt Perception Virtuality die bereits in Kapitel 2.1 vorgestellte Samsung Gear VR verwendet (Abbildung 2). Die Gear VR verfügt im Gegensatz zu anderen VR-Brillen über kein Display, sondern über optische Linsen, die ein Sichtfeld von 96 Grad ermöglichen [17e]. Für die Ausgabe des Bildes wird in Perception Virtuality das Samsung Smartphone Galaxy S6 Edge verwendet (Abbildung 2). Das Samsung Galaxy S6 Edge verfügt über einen 64GB großen Speicher und einen Octa-Core Prozessor [17d]. Da das Display des Smartphones gleichzeitig auch das Display der VR-Brille darstellt, ist dieses besonders wichtig. Das Samsung Galaxy S6 Edge verfügt über ein 5,1 Zoll großes Amoled Display [17d]. Dieses hat eine Auflösung von 2560 x 1440 Pixeln und besitzt 16 Millionen Farben [17d]. Auf dem Samsung Galaxy S6 Edge war zum Zeitpunkt der Entwicklung von Perception Virtuality das Betriebssystem Android mit der Version 6.0.1 installiert.
Das Smartphone und die Gear VR sind über eine microUSB 1.1-Schnittstelle miteinander verbunden [Sa16]. Für die Benutzung der Gear VR wird das Samsung Galaxy S6 Edge in die Gear VR eingelegt [17e]. Anschließend sind Interaktionen über das seitlich, an der Gear VR angebrachte Touchpad, möglich [17e].

Verwendete Software:
Die Software Axis Neuron wird benötigt, um die Kalibrierung des Perception Neuron Anzugs vorzunehmen [17b]. Zudem werden die von dem Perception Neuron Anzug gelieferte Daten verarbeitet, korrigiert und aus diesen ein menschliches Skelett rekonstruiert [Ba15].

Anschließend werden die Daten des menschlichen Skeletts als binäre float Daten über das Netzwerk an Unity übermittelt [Ba15]. Über Axis Neuron werden Echtzeitdaten des Perception Neuron Anzugs bearbeitet und weitergeleitet. Es ist ebenfalls möglich, die von den Perception Neuron Anzug generierten Daten für eine spätere Verwendung aufzuzeichnen [No15].
Für die Entwicklung der virtuellen Welt wurde bei Perception Virtuality die Game Engine Unity gewählt. Mit Unity können interaktive 3D-Inhalte erstellt werden [Se15].
Für die Generierung einer menschliche Figur wurde ein 3D-Scanner mit der Software Anthroscan 2016 genutzt.
Für die Texturierung der 3D-Figur wurde in Perception Virtuality die Modellierungssoftware 3DS Max verwendet [17a]. Dabei wurde auf das 3D-Objekt das Texturenbild gemappt, um die fertige 3D-Figur anschließend als FBX-Datei zu exportieren.
Die gescannte 3D-Figur kann ohne ein Skelett nicht animiert werden. Damit die Figur ein Skelett erhält, wird der Auto Rigger von dem Online-Tool Mixamo verwendet [17k].
Für die Portierung des Unity Projektes auf das Samsung Galaxy S6 Edge, wird eine Android SDK benötigt [16a].

3.2 Datenübertragung

Der Grundaufbau der Komponenten für Perception Virtuality besteht aus dem Benutzer, welcher den Perception Neuron Anzug trägt, der Samsung Gear VR mit der Perception Virtuality Anwendung auf dem Samsung Galaxy S6 Edge, einem Wlan-Router sowie einem Rechner mit der Axis Neuron Software (vgl. Abbildung 3).

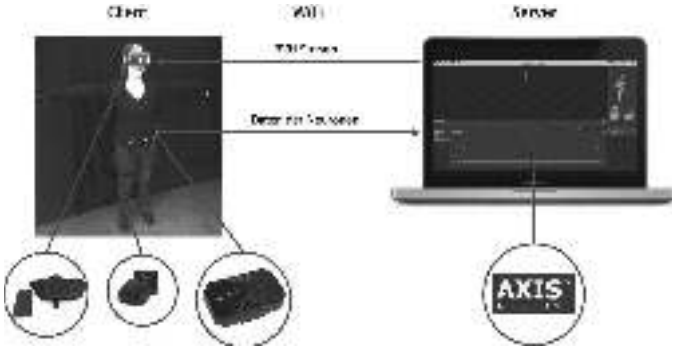


Abb. 3: Aufbau der Komponenten [17g][17h][17f]

Die Kommunikation der Komponenten beginnt dabei bei dem Benutzer. Dieser bewegt sich. Die Neuronen an dem Perception Neuron Anzug messen ihre jeweilige Orientierung und Beschleunigung [Ba15]. Diesen Daten werden zum zentralen Hub am Perception Neuron Anzug gesendet. Der Hub sendet anschließend die Daten über das Wlan an den Rechner mit der Axis Neuron Software. Der maximale Output des Hubs beträgt dabei 60 fps [17i]. In Axis Neuron werden anschließend die Daten verarbeitet und ein Skelett,

bestehend aus 59 Knochen, rekonstruiert [Ba15]. Die Skelett-Daten werden als BVH-Daten als Strom von Float-Werten über das Netzwerk gesendet [Ba15]. BVH steht dabei für Biovision Hierarchy und ist ein Dateiformat für die Character-Animation [17c]. Dieses Format beinhaltet Informationen über die Skeletthierarchie und über die Bewegungsdaten [17c]. Gleichzeitig verbindet sich die Unity basierte Perception Virtuality Anwendung mit Axis Neuron, um die Bewegungsdaten zu erfragen [Ba15]. Hierfür wird die IP-Adresse genutzt, mit welcher sich die Perception Virtuality Anwendung verbinden möchte sowie der Port, über welchen der BVH-Stream an die Samsung Gear VR gesendet wird [Ba15].

3.3 Humanoider Körper

In Perception Virtuality bewegt sich der Benutzer mit einem virtuellen Körper durch die virtuelle Welt. Um die Immersion zu erhöhen, bewegt sich der Benutzer mit einem menschlichen Körper fort [Je16]. Da wir es gewohnt sind, tagtäglich unseren eigenen Körper zu sehen, soll durch den menschlichen Körper in der virtuellen Welt die Illusion der Selbstverkörperung gesteigert werden [Je16]. Dadurch können die eigenen Körperbewegungen in der virtuellen Welt gesehen werden [Je16]. Zudem kann sich der Benutzer in der realen Welt selbst berühren und erlebt diese Berührung mit dem entsprechenden haptischen Gefühl in der virtuellen Welt. Daher wird im Folgenden die Erstellung eines menschlichen Körpers vorgestellt. Um einen menschlichen Körper zu erzeugen, können verschiedene Werkzeuge verwendet werden.
Eine Möglichkeit ist das Verwenden der Software MakeHuman. Mit MakeHuman können menschliche Körper gestaltet, geriggt (riggen bezeichnet das Einsetzen eines Skeletts in einen Character für dessen Animation) und als FBX-Datei in Unity importiert werden. Anhand der Software MakeHuman wurden die ersten Versuche, einen menschlichen Körper zu erzeugen, unternommen.
Für Perception Virtuality wurde jedoch ein menschlicher 3D-Scan verwendet, welcher anschließend durch die Online-Software Mixamo geriggt wurde. Für die Erstellung des 3D-Scans wurde der „Vitronic Vitus 3D-Bodyscanner“ verwendet [16b]. Der 3D-Scanner verfügt in seinem Innern über vier Säulen, die jeweils mit zwei Kameras und einer Lasereinheit ausgestattet sind [16b]. Dadurch erfolgt eine 3-dimensionale Vermessung des Körpers. Um den Körper später in Unity animieren zu können, müssen diesem durch ein Riggen, ein Knochenskelett hinzugefügt werden. Dafür wird die online Software Mixamo verwendet [2]. Für den Upload in Mixamo muss die Scan-Datei ein humanoides 3D-Mash sein [17k]. Hierfür wurde eine FBX-Datei verwendet, da diese bereits die Textur enthält. Die Pose muss entweder eine T-Pose oder eine A-Pose sein und die Größe der Datei darf 30MB nicht überschreiten [17k].
Für die Integration des Körpers in Unity muss zuerst ein „ThirdPersonController“ erstellt werden. Dieser wird für das Retargeting des Körpers anhand des Perception Neuron eigenen Skeletts benötigt. Beim Retargeting werden die Bewegungen eines Körpers auf einen

[2] https://www.mixamo.com/

anderen übertragen. Für das Retargeting wird ein Retargeting-Skript verwendet. Mit diesem Skript sollen BVH-Daten in Echtzeit durch Retargeting auf den Character übertragen werden. Hierbei wird die Position eines Perception Neuron Skeletts, welches Daten von Axis Neuron empfängt, auf den Character übertragen. Dabei wird der Offset mit einbezogen. Damit der Benutzer später mit den Augen des Characters sehen kann, muss eine Kamera auf Kopfhöhe integriert werden. Hierfür wird das „OVRCameraRig“ von Oculus verwendet[3].

3.4 Virtueller Spiegel

Um die Präsenz in der virtuellen Welt zu steigern, wurde ein virtueller Spiegel entwickelt, in welchem sicher der Benutzer in der virtuellen Welt betrachten kann. Das Besondere hierbei ist die Möglichkeit, den gesamten virtuellen Körper zu betrachten. Um einen virtuellen Spiegel für die Gear VR zu implementieren, dürfen keine reflektierenden Oberflächen verwendet werden, da eine Darstellung mit dem Samsung Galaxy S6 Edge nicht möglich ist. Daher wird für die Implementierung eine Mirror Camera verwendet.
Dafür muss eine Plane erstellt werden und aufrecht als Spiegel ausgerichtet werden. Anschließend wird eine Textur für den Spiegel erzeugt. Zudem muss eine Kamera erstellt werden und in den Hierarchy-View eingefügt werden. Diese Kamera befindet sich hinter der Plane zentral auf der Höhe des Characterkopfes. Diese Kamera wird im folgenden Mirror Camera genannt. Anschließend wird in der Einstellungen der Mirror Camera im Inspector View unter „Target Texture“ die Spiegel Textur hinzugefügt. Zuletzt wird die Spiegel Textur auf die Plane aufgezogen. Hierbei besteht das Problem, dass zwar nun ein Spiegelbild gezeigt wird, dieses jedoch noch spiegelverkehrt ist. Daher muss das Bild gespiegelt werden.

3.5 Mobile Anwendung auf GearVR

Die Anwendung (siehe Video [Ha17]) ist in einen Hardwareteil und in einen Softwareteil gegliedert. Der Hardwareteil besteht aus dem Perception Neuron Anzug, einem Wlan-Router, einem Rechner mit Axis Neuron und dem Smartphone Samsung Galaxy S6 Edge, auf welchem die Perception Virtuality Anwendung gespeichert ist. Der Softwareteil der Anwendung besteht aus der Perception Virtuality Anwendung auf dem Smartphone. Beim Öffnen der Anwendung wird dem Benutzer zuerst eine Benutzeroberfläche mit Eingabefeld und Nummernblock angezeigt. Durch die Eingabe der Rechner-IP, auf welchem Axis Neuron ausgeführt wird, soll sich die Anwendung mit jedem beliebigen Rechner verbinden können. Ist die Verbindung vorhanden, befindet sich der Benutzer direkt in der virtuellen Welt und kann sich in dieser bewegen. Dabei bewegt er sich in einem menschlichen Körper vorwärts, aus welchem er im „First Person View“ hinausschaut. In dieser virtuellen Welt hat der Benutzer die Möglichkeit, seinen gesamten Körper in einem virtuellen Spiegel zu betrachten. Zudem befindet sich in der virtuellen Welt ein roter Turm,welcher der Orientierung dient, da die virtuelle Welt bisher noch keine weitere Gestaltung besitzt.

[3] https://developer3.oculus.com/downloads/mobile/1.0.4/Oculus_Mobile_SDK/

4 Bewertung von Perception Virtuality

Nachfolgend soll Perception Virtuality bezogen auf die gestellten Anforderungen bewertet werden. Durch die Kombination des kabellosen Perception Neuron Anzugs mit der kabellosen Samsung Gear VR, entstand eine mobile Anwendung. Diese Anwendung ist einfach zu transportieren, da lediglich ein Rechner, ein Wlan-Router, der Perception Neuron Anzug, die Samsung Gear VR und das Samsung Galaxy S6 Edge benötigt werden. Weil Perception Virtuality kabellos und leicht transportierbar ist, kann diese Anwendung ortsungebunden eingesetzt werden. Die einzige Voraussetzung ist eine Steckdose, um den Wlan-Router mit Strom zu versorgen. Somit können die Anforderungen nach einer kabellosen, ortsungebundenen und leicht transportierbaren Anwendung erfüllt werden. Um die Immersion in der virtuellen Umgebung zu steigern, sollten die Bewegung des Benutzers auf den virtuellen Körper übertragen werden. Diese Anforderung wurde durch die Erstellung eines menschlichen Körpers verbunden mit einem Retargeting der Bewegung erfüllt. Die Übertragung der Bewegung erfolgt dabei in Echtzeit und ist über die Samsung Gear VR in der virtuellen Welt zu sehen. Durch die Bewegungsübertragung ist es dem Benutzer zudem möglich, sich in der virtuellen Welt zu bewegen. Damit kann Cybersickness verhindert werden, da der Benutzer die Fortbewegung in der virtuellen Welt durch das ihm bekannte Gehen verursacht. Durch die Erfüllung der Anforderungen kann somit Immersion erzeugt werden. Damit konnten alle in Kapitel 1.2 gestellten Anforderungen erfüllt werden.

5 Zusammenfassung und zukünftige Arbeiten

Die Anwendung Perception Virtuality soll die Immersion des Benutzers in der virtuellen Umgebung steigern. Dafür verfügt sie über ein mobiles Tracking, welches eine freie, ortsungebundene Bewegung ermöglicht. Zudem werden mit diesem Tracking die Bewegungen des Benutzers erfasst. Realisiert wird dies durch einen Perception Neuron Anzug. Die Anwendung selbst ist auf einem Samsung Galaxy S6 Edge, welche in Verbindung mit einer Samsung Gear VR ausgeführt wird. Mit Perception Virtuality kann sich der Benutzer in einer virtuellen Umgebung bewegen und sieht dabei die Bewegung seines Körpers. Dadurch soll Immersion erzeugt und damit die Präsenz im virtuellen Raum gesteigert werden. Durch die kabellosen Komponenten unterliegt der Benutzer in seinen Bewegungen keinen Einschränkungen. Die virtuelle Welt verfügt über einen virtuellen Spiegel, in welchem sich der Benutzer beobachten kann. Um die Daten von dem Perception Neuron Anzug zu empfangen, muss sich die Anwendung mit der Software Axis Neuron verbinden. Um diese Verbindung zu realisieren verfügt Perception Virtuality über eine Benutzeroberfläche, über welche eine beliebige IP für die Verbindung eingegeben werden kann. Insgesamt handelt es sich bei Perception Virtuality um eine gute Anwendung um die Immersion des Benutzers in der virtuellen Welt zu steigern. Perception Virtuality weißt jedoch noch Mängel auf, die bei einer Weiterbearbeitung des Projektes behoben werden sollten. Bei einer Weiterbearbeitung von Perception Virtuality sollte die Anzeige des Körpers verbessert werden. Da sich die Kamera als Augen des Benutzers im Kopf des virtuellen Körpers befindet, kann bei einer

Kopfbewegung nach unten in den virtuellen Körper hineingesehen werden. Zudem kann es zu Cybersickness kommen, da ein Konflikt zwischen dem Tracking der Samsung Gear VR und dem Perception Neuron Anzug besteht. Dadurch kommt es zu einer Verschiebung des Horizonts in der virtuellen Welt.
Durch das Beheben dieser Schwächen kann in zukünftigen Arbeiten ein noch höherer Grad an Immersion für den Benutzer erreicht werden. Zudem müssten quantitative Daten wie der closed-loop delay, der Drift und die Genauigkeit des Positionstrackings erhoben und gegebenenfalls verbessert werden. Abschließend kann jedoch festgehalten werden, dass alle Anforderungen, welche zu Beginn aufgestellt wurden, erfüllt werden konnten.

Literatur

[16a] Android Studio - The Official IDE for Android, Nov. 2016, URL: https://developer.android.com/studio/index.html.

[16b] Betriebsanleitung Vitus Bodyscan, Version 1.4.1, Vitronic, Juli 2016.

[17a] 3DS Max - Funktionen, Jan. 2017, URL: http://www.autodesk.de/products/3ds-max/features/all.

[17b] Axis Neuron Software, Jan. 2017, URL: https://neuronmocap.com/content/axis-neuron-software.

[17c] Biovision BVH, https://research.cs.wisc.edu/graphics/Courses/cs-838-1999/Jeff/BVH.html, Juni 2017.

[17d] Galaxy S6 Edge, Jan. 2017, URL: http://www.samsung.com/de/smartphones/galaxy-s6-edge-g925f/SM-G925FZDEDBT/.

[17e] Gear VR Innovator Edition for S6, Jan. 2017, URL: http://www.samsung.com/de/consumer/mobile-devices/wearables/gear/SM-R321NZWADBT/.

[17f] MacBook, Jan. 2017, URL: http://store.storeimages.cdn-apple.com/4662/as-images.apple.com/is/image/AppleInc/aos/published/images/M/AC/MACBOOKPRO/MACBOOKPRO?wid=1200&hei=630&fmt=jpeg&qlt=95&op_sharpen=0&resMode=bicub&op_usm=0.5,0.5,0,0&iccEmbed=0&layer=comp&.v=jBFkr3.

[17g] Perception Neuron, Jan. 2017, URL: http://www.noitom.com/images/neurons_1.jpg.

[17h] Perception Neuron, Jan. 2017, URL: http://www.noitom.com/images/HUB_2.jpg.

[17i] Perception Neuron, Jan. 2017, URL: http://www.noitom.com/index.php/solutions/perception-neuron.

[17j] Perception Neuron Complete System, Jan. 2017, URL: http://ww1.prweb.com/prfiles/2014/08/11/12070179/perception_neuron_system.jpg.

[17k] Rig a character in the time it takes to get a cup of coffee, Jan. 2017, URL: https://www.mixamo.com/auto-rigger.

[Ba15] Baumann, T.; Hao, T.; He, Y.; Shoda, R.: Perception Neuron Unity Handbook, Neuronmocap, Juni 2015, URL: https://neuronmocap.com/sites/default/files/downloads/unity_integration.pdf.

[Di16] Digital Trends Staff: Spec Comparison: Does the Rift's Touch update make it a true Vive competitor?, Okt. 2016, URL: http://www.digitaltrends.com/virtual-reality/oculus-rift-vs-htc-vive/#/3.

[Dö13] Dörner, R.; Jung, B.; Grimm, P.; Broll, W.; Göbel, M.: Einleitung. In: Virtual and Augmented Reality. Springer Vieweg, 2013.

[DS13] Dörner, R.; Steinicke, F.: Wahrnehmungsaspekte von VR. In: Virtual and Augmented Reality. Springer Vieweg, 2913.

[Gr13a] Grimm, P.; Herold, R.; Hummel, J.; Broll, W.: VR-Eingabegeräte. In: Virtual and Augmented Reality. Springer Vieweg, 2013.

[Gr13b] Grimm, P.; Herold, R.; Reiners, D.; Cruz-Neira, C.: VR-Ausgabegeräte. In: Virtual and Augmented Reality. Springer Vieweg, 2013.

[Ha17] Hagen, I.: Perception Virtuality, https://www.youtube.com/watch?v=ZZU35rpysGk, Feb. 2017.

[HZ00] Hartley, R.; Zisserman, A.: Multiple view geometry in computer vision. Cambridge University Press, 2000.

[Je16] Jerald, J.: The VR Book. ACM Books, 2016.

[No15] Noitom: Perception Neuron Quick Start Guide, 2015, URL: https://neuronmocap.com/sites/default/files/getting-started/quickstart.pdf.

[Pe16] Perception Neuron: What ist Motion Capture?, 2016, URL: https://neuronmocap.com/content/mocap-101.

[RDP16] Royston, S.; DeFanti, C.; Perlin, K.: GraphiteVR: A Collaborative Untethered Virtual Reality Environment for Interactive Social Networ. IEEE Scientific Visualization (SciVis) Conference/, 2016.

[Sa16] Samsung: Samsung Gear VR, 2016, URL: http://www.samsung.com/de/promotions/galaxynote4/spec/gearvr/.

[Se15] Seifert, C.: Spiele entwickeln mit Unity 5. Hanser, 2015.

[So16] Sony: Technische Spezifikation, 2016, URL: https://www.playstation.com/de-de/explore/playstation-vr/tech-specs/.

[SS15] Sauter, M.; Steinlechner, P.: Schlaue Vive und doofe Laser, 2015, URL: http://www.golem.de/news/virtual-reality-wie-valves-steam-vr-funktioniert-1503-112815-2.html.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 2537

Energy Efficiency of a Low Power Hardware Cluster for High Performance Computing

Michael Dominik Görtz[1], Roland Kühn[2], Oliver Zietek[3], Roman Bernhard[3], Michael Bulinski[3], Dennis Duman[3], Benedikt Freisen[3], Uwe Jentsch[3], Tobias Klöppner[4], Dragana Popovic[3] and Lili Xu[3]

Abstract: High performance computing has become more and more limited by the hardware's energy consumption, rendering it increasingly difficult to build even faster compute clusters, while modern low power hardware is making great improvements, regarding its performance. In order to overcome the limited energy density, we propose to use low power *System on a Chip* (SoC) devices, instead of high performance CPUs, exploiting the energy efficiency of modern low power processors.
We evaluated our suggestion by building a low power cluster based on 40 single board computers with ARM Cortex-A53 quad-core SoCs and measuring its performance, energy consumption and efficiency using synthetic and application benchmarks with different workload types. Our tests demonstrated that our cluster could perform the given benchmarks, using up to 70% less energy than an Intel-based reference server system, which lead to an increase in efficiency of up to 425%. Our evaluation showed that modern low power processors have become a good alternative for high performance computing, with large workloads profiting from massive parallelization and that we can expect further improvements in this field, regarding the hardware's performance and efficiency.

Keywords: energy efficiency; low power hardware; high performance computing; ARM processors

1 Introduction

Current data clusters for scientific and commercial applications are dominated by high-performance hardware which delivers large amounts of compute power at the cost of a very high power consumption. While data centers have improved their energy efficiency and while new data center concepts enable the creation of compute clusters with a very high energy density, the energy consumption of traditional server hardware has stalled at a high level. Since the hardware's compute power is still improving, its energy efficiency is getting better as well, but the pace of those improvements has slowed down dramatically over the last few years.

On the other hand, low power processors, which were originally intended for the use in mobile and ultra-low power devices, have made huge improvements regarding their compute

[1] TU Dortmund University, dominik.goertz@tu-dortmund.de
[2] TU Dortmund University, roland.kuehn@tu-dortmund.de
[3] TU Dortmund University, firstname.lastname@tu-dortmund.de
[4] TU Dortmund University, tobias.kloeppner@tu-dortmund.de

doi:10.18420/in2017_256

power. Modern low power processors like the latest ARM designs are very energy efficient and provide a lot of performance in relation to their low power consumption. Today, most of our mobile devices are small super computers on their own, providing more than enough compute power with multiple processor cores and sophisticated graphics processors, while still maintaining their low power consumption that is needed for mobile applications.

During the course of our master's degree's project group „Green Cluster Computing", we designed and built a low power cluster for scientific applications and evaluated its energy efficiency in comparison to conventional server hardware. We wanted to evaluate if low power processors could replace high-performance hardware in certain use cases or if it might already be efficient enough to provide a full replacement for hardware with high energy consumption. Our main goal was to find out if a slower low power cluster is able to be more energy efficient than high-performance hardware.

2 Background

The use of high performance hardware comes with a lot of advantages. The latest processor architectures by the major chip manufacturers like Intel and IBM are very robust, offer a lot of compute power per core and are scalable to large clusters. The development of these high performance processors however has become more and more limited by their energy consumption and thermal problems [Wa16].

During the planning of compute clusters, the designers usually try to cram as much compute power into the available space. The denser the systems become, the harder it becomes to provide the processors with enough power and cool them at the same time, since the heat cannot be transferred away from the compute cores fast enough.

Another aspect of the hardware's high power consumption is the cost of the needed energy. Not only the compute hardware has to be provided with power but the air conditioning systems, which are needed to cool the processors, need power as well. While more traditional data center concepts used more than a third of their energy consumption for cooling, modern and specialized data centers improved their energy efficiency dramatically and lowered the energy required for cooling to under 15% of the total power consumption [PL14].

Despite the data centers' great improvements, the limitations by the power density still exist and every additional Watt of power consumed leads to additional requirements for the cooling solution.

A possible solution for these limitations might be the use of low power hardware. While this type of processors has been on the market for many years, it has only become popular in the last few years with the digitization of our everyday life. Mobile devices have only small power capacities and therefore must be fitted with very energy efficient processors. The commercial success of „smart devices" led to great improvements of these low power

processors, which are able to provide respectable amounts of compute power in addition to their low power consumption.

While this energy efficient hardware is fitted to almost every device of our everyday life, it did not make its way into the field of high performance computing yet. We intend to close this gap by finding and evaluating possible use cases for low power hardware in a compute cluster.

3 Related Work

Even though the energy efficiency of low power hardware in high performance computing is mostly uncharted, there have been attempts to build clusters with this type of hardware in order to evaluate the capabilities of the new competitor. Over the last five years, multiple research teams built systems with different approaches and different use-cases.

In 2012 Ou et al. built a cluster out of PandaBoards, which were equipped with ARM Cortex-A9 MPCore dual-core processors [Ou12]. To evaluate performance and energy efficiency of the cluster they used web server, in-memory database and video transcoding applications and found out that the ARM processors were very efficient in less computation intensive applications and managed to perform their tasks up to 9.5 times more efficient than an Intel x86 platform. Computationally demanding workloads, however, were not the best application for the low power processors as their advantage shrunk to an efficiency ratio of 1.21 compared to the Intel system when transcoding videos.

In the same year, a European research team around Dominik Göddeke with members of the TU Dortmund Institute of Applied Mathematics built a cluster based on ARM Cortex-A9 processors as well [Gö13]. They used 96 of these processors and concluded that the ARM processors can be more efficient than a traditional x86-based compute cluster, but it was limited by the hardware's 100MBit network interface. Additionally, heavily compute bound applications were proven to be a weakness of the low power hardware once again.

A year later, members of the same team took the concept of a HPC cluster based on ARM Cortex-A9 processors a step further and built a rack containing 128 processors which were integrated into NVIDIA Tegra SoCs [Ra14]. They benchmarked it using common benchmarks for raw computational power like micro benchmarks for double-precision floating points computation, Drystone and the SPEC CPU2006 benchmark. Their conclusion was that the cluster was 5 to 18 percent more efficient regarding its *energy to solution*, than the reference system, that was based on Intel Core i7 640M processors. They even tried to simulate the use of Cortex-A15 processors, which contain 16 cores each and estimated that these would increase their cluster's energy efficiency by 8.7x.

Picking up on the idea of using low power processors with larger amounts of cores, Michael Johan Kruger built a mini-cluster that consisted of four Parallela boards, which had 18 cores each [Kr15]. They were equipped with a dual-core ARM A9 CPU and a 16-core Epiphany

co-processor. He managed to achieve a performance similar to that of an Intel i5 3570, with only a third of the Intel processor's power consumption. However, the Epiphany chip limited the systems performance, as it is not capable of complex arithmetic computations.

In general, the research in the field of high performance computing on low power hardware has shown that the used ARM processors were very energy efficient, but they lacked the computational power to achieve a performance, similar to that of high performance hardware. Our goal is to evaluate whether this lack of computational power has been compensated and whether it has increased the hardware's energy efficiency even further.

4 System

4.1 Hardware Choice

The first objective was to choose an energy efficient single board computer that can provide a great amount of compute power. We considered both ARM- and x86-based platforms and ordered various single board computers to determine their energy consumption and computational power. MIPS-architecture-based processors were ignored due to the lack of suitable and available boards. We used the *Odroid Smart Power* by Hardkernel [Har17] to measure the energy consumption during idle and heavy load. The benchmarks for the load tests were taken from the Phoronix test suite [LT17].

Since the desired UDOO board was not available at that time, we ordered an ITX board with a similar SoC instead. Additionally, an Energenie EGM-PWM-LAN was used for the energy measurement of this board.

The examined boards and the corresponding power ranges are listed in table 1.

Board	RAM	CPU	Ethernet	Power
Odroid-C2	2GB DDR3	4 x 1.5 GHz ARM Cortex-A53	1GBit	2.0 - 4.2 W
Odroid-XU4	2GB LPDDR3	4 x 2 GHz ARM Cortex-A15 4 x 1.4 GHz ARM Cortex-A7	1GBit	3.8 - 10.5 W
Raspberry Pi 3	1GB LPDDR2	4 x 1.2 GHz ARM Cortex-A53	100MBit	1.3 - 4.2 W
ASRock J3160TM-ITX	4GB DDR3L	4 x 2.24 GHz Intel Celeron J3160	1GBit	10.6 - 16.0 W

Tab. 1: Examined boards

The benchmark results showed that the Celeron-based board and the Odroid-XU4 performed very well, but the energy consumption was significantly worse compared to the other boards. Considering the benchmark results and the peak power, the Odroid-C2 seemed to be the best suitable solution for our cluster [RB16]. Compared with the Odroid-XU4, it features the more modern ARMv8-architecture, which includes e.g. fully IEEE754-compatible double precision float SIMD-operations [St16] and in contrast to the Raspberry Pi, the Odroid-C2 has 2 GB of RAM and a much better network interface, which is a non-negligible aspect in a cluster.

4.2 Hardware Layout

We packaged the 40 boards of our cluster into a 2 RU 19"case, which we designed specifically for this purpose. It contains two MeanWell RSP-200-5 power supplies, which provide enough power to run at an utilization of under 50%, providing redundancy at the same time as a good efficiency level. Furthermore, the case is fitted with four distribution boards to provide power to the 40 SoCs and an additional Odroid C2, which is used for energy measurements.



Fig. 1: Hardware Layout of the Low Power Cluster *Eriador*

For the network backbone the system is equipped with an HP 1920 48 Port Gigabit Switch, that is integrated into the case's structure.

5 Evaluation

5.1 Test Hardware

To evaluate the performance and energy efficiency of our cluster *Eriador*, we ran it against various synthetic and application benchmarks with different workloads. In our cluster, we used all 40 Odroid C2 boards, connected via the aforementioned HP 1920 48 Port Gigabit Switch. Every board is equipped with an ARM Cortex-A53 quad-core processor at a frequency of 1.5 GHz and 2 GB of RAM.
As a reference system, we used a high performance server system provided by the DBIS group of our compute science department. It is equipped with two modern Intel Xeon E5-2695 v2 processors from the Ivy Bridge EP family, at a frequency of 2.4 GHz and 256 GB of RAM, which makes it a good representative of the high-performance hardware that is deployed in HPC data centers right now.

5.2 Energy Measurements

For the energy measurements inside of *Eriador*, we used 4 measurement and distribution boards that we designed ourselves. These are equipped with two ACS758 Hall sensors [AM17] and ADS1115 I^2C-AD-converters [TI17] and provide us with accurate measurements of the power consumption, within a measuring error of less than 10%. The power measurements of the 8 sensors are then accumulated to a total power consumption.
In order to measure the reference system's power consumption, we used a network-based EnerGenie EGM-PWM-LAN Energy Meter, that we monitored with a network script.
We used the Energy-Delay-Product (ED-Product), measured in Js, as a metric for energy efficiency of the system, as well as the performance per Watt, measured in FLOPS/W.

5.3 Heat Management

Even though each Odroid C2 board draws only a small amount of power, the total power consumption of the 40 boards leads to significant heat that has to be dissipated away from the processors. For cooling we integrated four 80mm fans with a speed of 1500rpm to push enough air through the system's chassis and keep the Odroid boards in an acceptable temperature range. We conducted measurements during stress tests with the whole system running at maximum load. The core temperatures of the boards do not exceed 76°C which is within the specifications of the Odroid C2 [RB16]. During normal workloads and benchmarking the core temperature stays within the recommended operating temperature of 70°C.

5.4 Performance Tests with Himeno

First, we conducted experiments with the Himeno Benchmark, in order to gain some knowledge about the raw compute power of *Eriador* and a rough understanding about its energy efficiency in relation to its performance. The benchmark was developed by Dr. Ryutaro Himeno at the RIKEN Advanced Center for Computing and Communication and is built on a Poisson Equation Solver that uses the Jacobi iteration method [Adv17]. It measures a systems floating point compute power in FLOPS. There are different data set sizes available consisting of different sized data matrices. Table 2 contains the four data set sizes with their data matrix dimensions.

S:	128 x 64 x 64	L:	512 x 256 x 256
M:	256 x 128 x 128	XL:	1024 x 512 x 512

Tab. 2: Data Matrix Dimensions for the Himeno Benchmark Poisson Equation Solver

We ran the benchmark with the smallest data set size and multiple partition configurations and discovered, that the energy consumption had deviations of up to 40% between measurements.

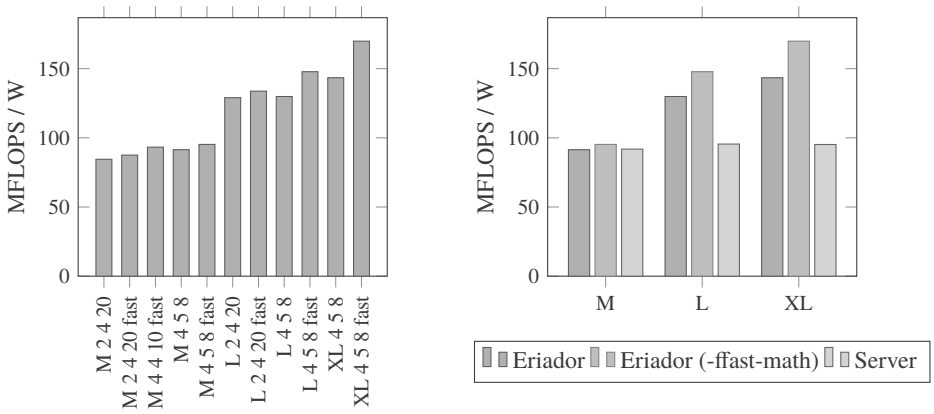


Fig. 2: Energy efficiency of *Eriador* with different Himeno benchmark configurations (left) and in comparison with the reference system (right)

These deviations occurred for our cluster, as well as for the reference system, since the data management and job distribution overhead is bigger, than the actual computation load. With a data set size of M, L and XL the deviations between measurements decreased to less than 2% and therefore the results are usable.

However, even with a sufficiently big data set, the results are still dependent on the used benchmark configuration. The way the benchmark's data matrix is partitioned, influences the performance and energy consumption and therefore the energy efficiency as well. To evaluate this dependency, we ran both *Eriador* and the reference system against different configurations and calculated their energy efficiency. As displayed in Fig. 2, our cluster reaches its highest efficiency with the biggest data set. While GCC's code generator for Intel processors is already very mature and provides very good performance on the `-O3` optimization level, it does not profit from the `-ffast-math` option significantly. In contrast, the back-end for the ARM architecture is still in rapid development and in order to evaluate future optimization capabilities, we activated the GCC compiler option `-ffast-math` and added the options `-march=armv8-a` and `-mtune=cortex-a53`, to improve the compiler's code optimization results.

For the comparison between the Intel system and our ARM cluster, we used the best configurations in each data set size per system and additionally included the result for our cluster, with activated `-ffast-math` option, to show its potential with activated auto vectorization. The results for the best configurations with a XL sized data set are displayed in Tab. 3. While *Eriador* only has about half the MFLOPS the Intel server can provide, it uses just a little over a third of the energy during a benchmark run and therefore has a significantly higher MFLOPS/W ratio.

Considering all three data set sizes, the energy efficiency advantage of the ARM cluster

System	Threads	MFLOPS	Energy [KJ]	Time [s]	MFLOPS/W
Eriador	160	19,343.57	8.52	63.19	143.45
Eriador with -ffast-math	160	23,051.04	8.57	63.16	169.87
Server	48	41,990.85	22.32	50.6	95.18

Tab. 3: Performance, Execution Times and Energy Consumption for Himeno with XL data set

grows with a bigger data set size. Because the cluster is still bound by the data management overhead, both systems are more or less on par at the M data set size, while it can deliver a far better performance with bigger data sets. This leads to an efficiency advantage of 50% compared with the Intel reference system. Furthermore, the `-ffast-math` compiler option is able to provide an additional 18% efficiency increase.

5.5 NASA NAS Parallel Benchmarks

In order to test how much *Eriador* is able to profit from its massive parallelization capabilities we chose the well-respected NASA NAS Parallel Benchmark Suite[NAS17]. It is derived from computational fluid dynamics applications and has multiple options for small and large test problems. While the suite provides a large variety of different benchmarks we chose two multi-zone benchmarks for our testing. The BT-MZ and SP-MZ benchmark both make use of the different levels of parallelization, that our hardware provides. It can parallelize over all boards, as well as between the cores of each processor.

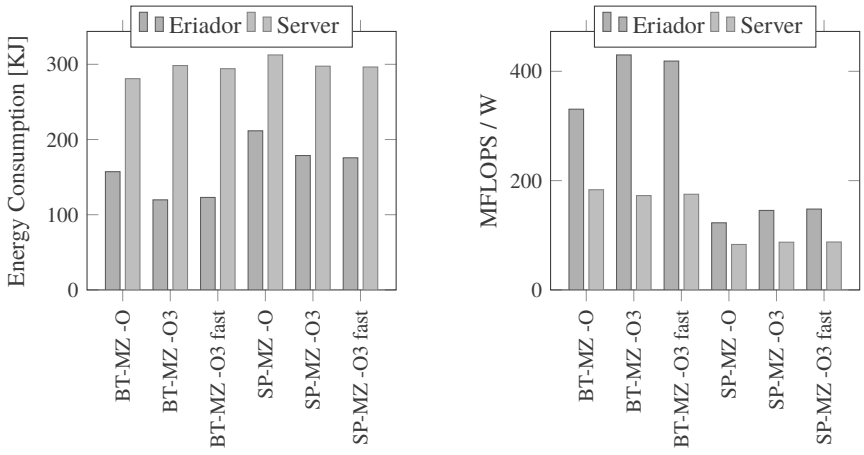


Fig. 3: Energy consumption (left) and efficiency comparison (right) with different compiler settings

The optimization settings used for compiling the benchmark can have a significant impact on the energy efficiency. While the reference system does not achieve a significant gain in performance and even loses performance with the `-O3` flag and `-ffast-math` option, going along with an increased energy consumption, *Eriador* is able to exploit the better code

optimization, which leads to a 30% gain in efficiency for the BT-MZ Benchmark and 18% more MFLOPS per Watt with the `-O3` option. However, the `-ffast-math` option does not bring an additional increase in performance or efficiency for the cluster.

Benchm.	System	Optimization	MFLOPS	Energy [KJ]	Time [s]	MFLOPS/W
BT-MZ	Eriador	-O3	64,751.66	119.78	795.3	429.94
	Server	-O	76,084.89	280.9	676.83	183.33
SP-MZ	Eriador	-O3	23,391.96	178.72	1,111.11	145.43
	Server	-O3	39,481.15	297.53	658.31	87.35

Tab. 4: Performance, Execution Times and Energy Consumption for the NASA NAS Benchmark Suite

All in all, our cluster is able to achieve a very good efficiency with this benchmark suite, providing 2.3 times more MFLOPS per Watt in the BT-MZ benchmark, than the reference system. Even for the SP-MZ Benchmark, *Eriador* has a 66% better efficiency, compared to the server system, but execution times of the cluster are significantly longer, taking up to 70% more time to compute.

5.6 Classification with an MPI-based k-means Algorithm

In order to measure the efficiency in a more realistic setting compared to the aforementioned synthetic benchmarks, we used an MPI-based k-means implementation and compared the results with those from the reference server.

The k-means algorithm is used for data clustering tasks in the fields of signal processing and data mining [Na17]. The problem is to partition n objects into k data cluster while minimizing the deviation within each cluster. The idea behind the used k-means implementation is to define k cluster centroids and try to associate each object to one centroid, if no centroid fits the object the k centroids are moved. This application can be parallelized very well but depends on a central node, which fetches the results of all compute nodes after each iteration and computes new centroids for the next iteration.

For our measurements, we used a dataset with 1.59M samples each consisting of 20 features, with 5 features being redundant. The data set, with a size of roughly 780MB, was loaded off the same network storage by the cluster, as well as the reference server system.

System	Threads	Time [s]	Energy [KJ]	ED-Product [MJs]
Eriador	160	2,194.46	314.36	689.86
System	48	1,138.56	462.35	526.42

Tab. 5: Performance, Energy Consumption and Efficiency for k-means

Eriador struggles with the workload provided by the k-Means algorithm. During each iteration, the algorithm calculates new centroids, which is done on a single node and leads to an uneven hardware utilization. Fig. 4 contains a 30 second interval, taken from the power consumption measurements and shows the phases with more and less heavy compute load

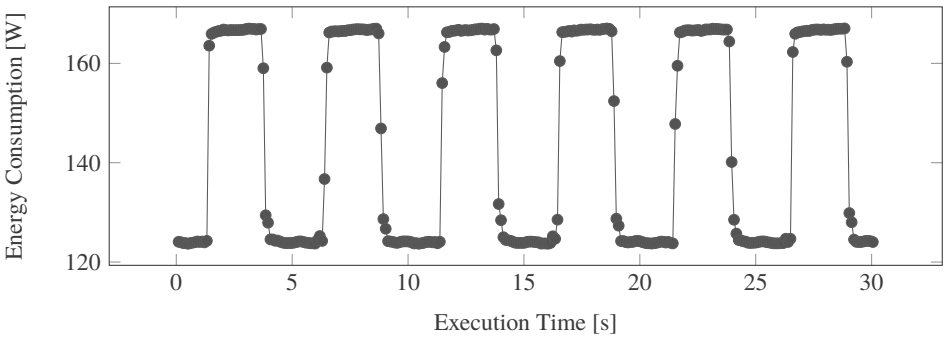


Fig. 4: Uneven Hardware Utilization caused by the centroid calculation phase of the k-Means-Algorithm

on the cluster nodes. The grade of partitioning needed to exploit all nodes of our cluster leads to an additional computation overhead of roughly 10% of the total computation time.

As displayed in Tab. 5, while the cluster's overall energy consumption is more than 45% lower, than the energy consumption of the reference system, it can't hide the fact, that the execution takes nearly twice as long. With an energy delay product of 690 MJs, *Eriador* is about 25% less efficient than the reference server, which takes 526 MJs to complete the task. Therefore, our cluster is far more efficient regarding the pure energy consumption, but lacks the power to be time and energy efficient at the same time.

5.7 Distributed Video Encoding

Another typical workload for compute clusters are video encoding tasks. By partitioning the input data and encoding it separately for each partition, the workload can be parallelized very well, which leads to a good scaling behavior with high node counts. For our tests, we used the *Distributed Video Encoder* (DVE) by Tessa Nordgren [No17] and encoded a video from the 31c3 conference. The 63min long and 742MB sized video file [Kr14] was encoded with a fixed video bitrate of 1000 kbit/s, in order to produce comparable and reproducible results.

System	Threads	Chunks	Time [s]	Energy [KJ]	ED-Product [MJs]
Eriador	160	40	341.32	42.25	14.42
		445	320.18	40.54	12.98
Server	48	1	491.7	142.32	69.98
Server with ffmpeg	48	1	416.67	133.01	55.42

Tab. 6: Performance, Energy Consumption and Efficiency for DVE

In addition to a partitioning with one chunk per Odroid board, we also chose the highest partitioning level available, which resulted in 445 chunks. This leads to a small increase in

performance, as well as efficiency for the cluster. The reference system, on the other hand, suffers from a higher chunk count and has its best results with only one chunk, effectively encoding the whole video at once, with all 48 processor threads. Encoding the video directly with ffmpeg did bring small improvements in efficiency and performance for the reference server. However, the *Eriador* does perform as well as expected. The nature of this highly parallelized workload suits the low power cluster very well and results in only a third of the reference systems energy consumption and a 4 times better ED-product. While *Eriador* is behind in performance for the other benchmarks, it even delivers a better performance than the reference system resulting in 30% faster execution times.

6 Conclusion and Outlook

With various synthetic and application benchmarks, we were able to prove, that low power hardware, represented by our ARM Cortex-A53-based compute cluster, has become a viable option for high performance computing. It can provide decent compute power and uses significantly less energy. The reduced power draw leads to great cost reductions for energy, as well as cooling and due to their low heat loss, the processors can be packaged very densely.
Considering the rapid development in the ARM processor community, we can expect even better results for low power systems in the future. But not only the hardware side is improving, the software is getting better as well. The higher compiler optimization levels and especially the experimental optimization options show, that there is a lot more potential in the hardware, than currently meets the eye. In the future we are going to upgrade *Eriador's* cooling system with better fans and automatic temperature monitoring. Furthermore we are going to evaluate the cluster with a standalone version of the Hybrid Seeding Algorithm of the Large Hadron Collider beauty experiment [Qu17].

7 Acknowledgement

This work was supported by the DBIS Group of the Department of Computer Science at TU Dortmund University. The authors would like to thank the DBIS Group, especially Thomas Lindemann and Jens Teubner for their support and supervision.

References

[Adv17] Advanced Center of Computing and Communication. Himeno benchmark, accessed May 12, 2017. http://accc.riken.jp/en/supercom/himenobmt/.

[AM17] Allegro MicroSystems, LLC: . ACS758xCB: Datasheet, 2016 (accessed April 25, 2017). http://www.allegromicro.com/~/media/Files/Datasheets/ACS758-Datasheet.ashx.

[Gö13] Göddeke, Dominik; Komatitsch, Dimitri; Geveler, Markus; Ribbrock, Dirk; Rajovic, Nikola; Puzovic, Nikola; Ramirez, Alex: Energy efficiency vs. performance of the numerical solution of PDEs: An application study on a low-power ARM-based cluster. Journal of Computational Physics, 237:132–150, 2013.

[Har17] Hardkernel co. Ltd. ODROID Smart Power, 2014 (accessed May 13, 2017). http://www.hardkernel.com/main/products/prdt_info.php?g_code=G137361754360.

[Kr14] Kriesel, David: , Traue keinem Scan, den du nicht selbst gefälscht hast. MP4-Video, 2014. http://cdn.media.ccc.de/congress/2014/h264-hd/31c3-6558-de-en-Traue_keinem_Scan_den_du_nicht_selbst_gefaelscht_hast_hd.mp4.

[Kr15] Kruger, Michael Johan: Building a Parallella board cluster. Bachelor of science honours thesis, Rhodes University, Grahamstown, South Africa, 2015.

[LT17] Larabel, Michael; Tippett, M: . Phoronix test suite, 2011 (accessed May 13, 2017). https://www.phoronix-test-suite.com.

[Na17] Naik, Azad: . k-means clustering algorithm, accessed May 12, 2017. https://sites.google.com/site/dataclusteringalgorithms/k-means-clustering-algorithm.

[NAS17] NASA Advanced Supercomputing Division. NAS Parallel Benchmarks, accessed May 12, 2017. https://www.nas.nasa.gov/publications/npb.html.

[No17] Nordgren, Tessa: . dve - the distributed video encoder, 2016 (accessed May 13, 2017). https://github.com/nergdron/dve.

[Ou12] Ou, Zhonghong; Pang, Bo; Deng, Yang; Nurminen, Jukka K; Ylä-Jääski, Antti; Hui, Pan: Energy-and cost-efficiency analysis of arm-based clusters. In: Cluster, Cloud and Grid Computing (CCGrid), 2012 12th IEEE/ACM International Symposium on. IEEE, pp. 115–123, 2012.

[PL14] Phan, Long; Lin, Cheng-Xian: A multi-zone building energy simulation of a data center model with hot and cold aisles. Energy and Buildings, 77:364–376, 2014.

[Qu17] Quagliani, Renato; Billoir, Pierre; Polci, Francesco; Amhis, Yasmine Sara: The Hybrid Seeding algorithm for a scintillating fibre tracker at LHCb upgrade: description and performance. Technical report, 2017.

[Ra14] Rajovic, Nikola; Rico, Alejandro; Puzovic, Nikola; Adeniyi-Jones, Chris; Ramirez, Alex: Tibidabo: Making the case for an ARM-based HPC system. Future Generation Computer Systems, 36:322–334, 2014.

[RB16] Roy, Rob; Bommakanti, Venkat: . ODROID-C2 Beginner's Guide, 2016. https://magazine.odroid.com/wp-content/uploads/odroid-c2-user-manual.pdf.

[St16] Stephens, N.: ARMv8-A Next-Generation Vector Architecture for HPC. Hot Chips 28, Cupertino, August 2016.

[TI17] Texas Instruments, Incorporated: . ADS111x Ultra-Small, Low-Power, I 2 C-Compatible, 860-SPS, 16-Bit ADCs With Internal Reference, Oscillator, and Programmable Comparator, 2016 (accessed April 25, 2017). http://www.ti.com/lit/ds/symlink/ads1113.pdf.

[Wa16] Waldrop, M Mitchell: The chips are down for Moore's law. Nature, 530(7589):144–147, 2016.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 2549

A Monte Carlo Tree Search Based Conflict-Driven Clause Learning SAT Solver

Jens Schloeter[1]

Abstract: Most modern state-of-the-art Boolean Satisfiability (SAT) solvers are based on the Davis-Putnam-Logemann-Loveland (DPLL) algorithm and exploit techniques like unit propagation and Conflict-Driven Clause Learning. Even though this approach proved to be successful in practice and most recent publications focus on improving it, the success of the Monte Carlo Tree Search (MCTS) algorithm in other domains led to research in using it to solve SAT problems. While a MCTS-based algorithm was successfully used to solve SAT problems, a number of established SAT solving techniques like clause learning and parallelization were not included in the algorithm. Therefore this paper presents ways to combine the MCTS-based SAT solving approach with established SAT solving techniques like Conflict-Driven Clause Learning and shows that the addition of those techniques improves the performance of a plain MCTS-based SAT solving algorithm.

Keywords: Boolean Satisfiability, SAT Solving, Monte Carlo Tree Search, Conflict-Driven Clause Learning

1 Introduction and Related Work

The Boolean Satisfiability (SAT) problem is an NP-complete decision problem, which has applications in a number of topics like automatic test case generation [SBSV88], formal verification [GGW06] and many more. One main reason for the usage of SAT in those fields is the existence of efficiently performing solvers.

As Marques-Silva et. al. [MSLM09] point out, most SAT solvers are based on the Davis-Putnam-Logemann-Loveland (DPLL) algorithm and use backtracking to determine a solution. While those solvers proved to be successful in practice, the success of the Monte Carlo Tree Search (MCTS) algorithm in other domains such as General Game Playing and different combinatorial problems [Br12] led to recent work towards using it to solve SAT, MaxSAT [GR16] and other related problems [Lo13]. For example Previti et. al. [Pr11] presented a solver that uses the MCTS algorithm in combination with classical SAT solving techniques like unit propagation [DP60]. Their experiments showed that the MCTS-based approach performed well if the SAT instance has an underlying structure.

[1] Universität Bremen, Fachbereich 3, Bibliothekstr. 5 (MZH), 28359 Bremen, Deutschland, jschloet@uni-bremen.de

doi:10.18420/in2017_257

So while they had some success to combine the MCTS-based approach with SAT solving techniques like unit propagation, they did not include other key features of modern state-of-the-art SAT solvers. One contribution of this paper is to present a method to use Conflict-Driven Clause Learning (CDCL) [Zh01] in a MCTS-based algorithm and show that the use of that technique improves the performance of the algorithm.

Even with the usage of additional features like CDCL it is uncertain if the MCTS-based approach can compete with modern state-of-the-art SAT solvers. But as Martins et. al. explained [MML12], one of the main research directions of parallel SAT solving – the portfolio approach – relies on diversity in the search strategies of the used SAT solvers and as the MCTS-based CDCL solver greatly differs from a DPLL based algorithm, it might prove useful in such scenarios. Because of that, the second contribution of this paper focuses on exploiting advantages of the MCTS algorithm when solving SAT in parallel and presents a way to use it in a portfolio approach.

2 Preliminaries

This section presents the fundamentals of the MCTS-based CDCL solver. Therefore it describes the input problem of the solver and the SAT solving technique unit propagation. Additionally a MCTS-based SAT solving algorithm similar to UCTSAT by Previti et. al. [Pr11] is introduced, that is later used as the basis of the MCTS-based CDCL solver.

2.1 Problem Description

The MCTS-based CDCL solver will accept boolean formulas in *Conjunctive Normal Form (CNF)*. A boolean formula in CNF is a conjunction of *clauses*, where a clause is a disjunction of literals and a *literal* is either a *variable* x_i or its negation $\neg x_i$.

Each variable x_i can be assigned to either value 0, value 1 or be unassigned. A literal is called satisfied by an assignment if it has the truth value 1, i.e. is a variable x_i that is assigned to 1 or a negated variable $\neg x_i$ where x_i is assigned to 0. A Clause is called satisfied by an assignment if at least one of its literals is satisfied. A CNF formula is called satisfied by an assignment if all of its clauses are satisfied. The goal of SAT is to find an assignment that satisfies a given formula or to determine that no such assignment exists.

In the context of SAT solving a *conflict* is the occurrence of an unsatisfied clause for an assignment.

2.2 Unit Propagation

One key operation when solving SAT is the *unit propagation* [DP60]. A clause C is called *unit* if exactly one of its literals is unassigned and the others are unsatisfied. The unassigned

literal is then called *unit literal*. The merit of unit clauses is that they enforce the assignment of their unit literal as it must be assigned to truth value 1 to satisfy the clause. SAT solvers exploit this fact and check after each assignment if clauses became unit and, if that is the case, execute the assignment of their unit literals. As this can lead to other clauses becoming unit and thus enforcing further assignments, this process is called *unit propagation*.

2.3 Monte Carlo Tree Search based SAT Solving

This section introduces the MCTS algorithm for SAT solving based on [Pr11]. Like most implementations of Monte Carlo Tree Search it is based on the $UCB1$ algorithm for multi-armed bandit problems and uses the *Upper Confidence Bounds for Trees (UCT)* formula to decide in which direction to expand the search tree [Mu14].

The main goal of using the UCT formula is to build an asymmetric search tree that is expanded at the most promising nodes, i.e. at the nodes with the highest estimated values. As the estimated value can be biased, the use of the UCT formula also encourages exploring new paths of the search tree.

In our case, every node of the search tree represents a variable assignment and is marked with a variable that is unassigned in the node but becomes assigned in its children. The root node represents the empty assignment, i.e. an assignment where every variable is unassigned. For that purpose, each node n has a reference to its parent node $n.parent$ and a property $n.assignment$ that stores the value the parent's variable is assigned to. To be able to use the UCT formula each node additionally has an estimated value as well as a counter for the number of times the algorithm has traversed through it. Both of these properties are used to calculate the UCT value of a node as in equation (1), where the first summand benefits nodes with high estimated values and the second one those that are not well explored. The factor C in equation (1) is the so-called exploration constant that can be used to weight the summands.

$$UCTValue(node) = \frac{node.estimatedValue}{node.counter} + C \cdot \sqrt{\frac{2 \ln node.parent.counter}{node.counter}} \quad (1)$$

Given a CNF formula, the UCT based solver executes iterations until a satisfying assignment is found or the formula is proved to be unsatisfiable. In each iteration one node is added to the search tree, its value estimated and the values of the tree's nodes are refreshed. During the iteration an instance of the given formula is kept up to date by executing encountered assignments and – after each assignment – unit propagation on this formula. Algorithm 1 shows the pseudo code of the complete algorithm that iterates through the four phases of the algorithm – *selection*, *expansion*, *simulation* and *backpropagation* – until a satisfying

Algorithm 1: main(formula f)

```
formula ← f;
rootNode ← newNode();
rootNode.variable ← variableOrder.next();
begin
    while true do
        if rootNode.conflict then
            return UNSAT;
        formula ← f.copy();
        selectedNode ← select(rootNode, formula);
        newNode ← expand(selectedNode, formula);
        simulationResult ← simulate(formula);
        if simulationResult.SAT then
            return SAT;
        else
            backpropagate(newNode, simulationResult);
```

assignment is found or the root node is marked as conflicting and thus the formula is unsatisfiable.

The selection phase of the algorithm – see $select(rootNode, formula)$ in Algorithm 1 – is used to decide at which point to expand the search tree. To do so, the algorithm starts from the root node and traverses trough the tree until one of its leaves is reached. During this process the next node to be traversed through is always the child of the current node with the highest UCT value. A node that is encountered during this phase can have a conflicting assignment if all of its children proved to result in conflicts. If such a node occurs, it is marked as conflicting and removed from the search tree.

When the expansion point of the tree is determined, the expansion phase of the algorithm – see $expand(selectedNode, formula)$ in Algorithm 1 – is executed. In this phase a new child of the selected node is added to the search tree which assigns the variable of the selected node to a value that has not been tried yet. If that assignment proves to result in a conflict, the new node is marked as conflicting. The variable of the new node is determined using the *variable order heuristic*, which is a common part of SAT solvers and determines the next variable to be assigned. In our implementation we used a heuristic similar to the *Variable State Independent Decaying Sum (VSIDS)* order heuristic that basically assigns the variables at first that occur more often in the formula [Li15].

To estimate the value of the new node, the simulation phase is executed, which – starting with the current formula and the assignment of the new node – selects variables according to the variable order heuristic and assigns them randomly until a conflict or a satisfying assignment is reached. Again, unit propagation is executed after each assignment. The

number of satisfied clauses in the resulting formula is then used as an initial estimated value for the new node. During the selection phase a normalized form of this value is used in the UCT formula. Note that, if the simulation finds a satisfying assignment, the problem is solved and the algorithm can stop. This phase is part of Algorithm 1 as $simulate(formula)$.

After a simulation is executed, its result is back-propagated through the search tree and the estimated value as well as the counter of every node on the path from the root to the new node is refreshed, i.e. their counters are increased by one and their estimated values are increased by the estimated value of the new node. This process is indicated by $backpropagate(newNode, simulationResult)$ in Algorithm 1.

3 Conflict-Driven Clause Learning

As already mentioned, the learning and usage of new clauses is a key aspect of modern SAT solvers. This section introduces the concept of *Conflict-Driven Clause Learning* and shows how it can be used in the MCTS-based algorithm.

The clause learning usually takes place whenever a conflict occurs and determines a new clause that formulates the reason for the conflict. The new clause is learned using the unit clauses whose enforced assignments led to the conflict and added to the formula. For a more detailed explanation on clause learning see [MSLM09].

Our approach for a MCTS-based CDCL solver is to learn a new clause whenever a simulation leads to a conflict and to add it to the formula when the algorithm starts a new iteration. As no backtracking is executed, our algorithm does not exploit the clause learning to determine the backtracking level.

One aspect to consider when using this technique is that at each node that is created during the expansion phase of the algorithm, a number of variables are already assigned to a value. While no node is created that has a variable assignment that directly causes a conflict, the learning of additional clauses can lead to the existence of nodes that have assignments which lead to a conflict in one of the learned clauses. Those nodes should not be included in the selection phase of the algorithm and do not have to be further stored. As it would be too complex to check if each node still has a valid variable assignment whenever a new clause is learned, we modify our algorithm to check the nodes that are traversed through during the selection phase. Figure 1 shows such a situation, where the algorithm is determining the successor of the green colored node during the selection phase and notices that assigning the current variable x_k to 0 would lead to a conflict such that the red colored node is conflicting.

The figure shows that the algorithm basically only has the choice to select the assignment $x_k = 1$ because the alternative would lead into a conflict. At this point, there are two possible reasons for the appearance of this conflict. First, the variable assignment could directly lead to the conflict and second, the unit propagation after the assignment could lead to the conflict.

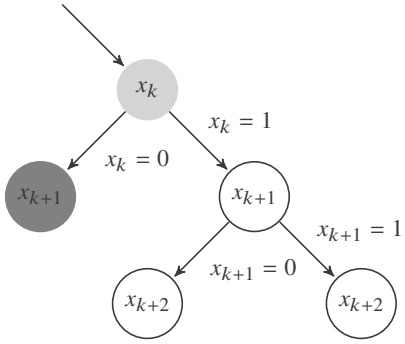


Fig. 1: Encountering a conflicting node during the selection phase

Note that if the variable assignment directly leads into a conflict, it means that a clause C must exist which is unit and has the unit literal x_k. This is an important aspect as we defined the algorithm to execute unit propagation after each variable assignment, so when assigning the precursor variable of x_k, the unit propagation must have led to the assignment $x_k = 1$. Because of that, not only the red colored node becomes unnecessary but also the green colored one as its variable must already have been assigned, so the algorithm can prune both nodes[2] and continue in the state shown in Figure 2. To detect this case, the algorithm only has to check if the variable of the current node has already been assigned due to unit propagation. If on the other hand the unit propagation after the assignment of the red node leads to the conflict, the green node does not become redundant as its assignment was not already executed due to unit propagation in the previous nodes. In this case, the red node can still be pruned, but the green one needs to be retained. This case can be detected by checking whether a variable assignment led to a conflict during the selection phase.

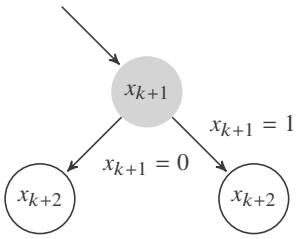


Fig. 2: The search tree of Figure 1 after pruning nodes

The learning and addition of new clauses yields two major benefits for the MCTS-based CDCL solver, where the first benefit is the pruning of the created search tree and the second

[2] Note that the conflicting node can have child nodes which will be pruned as well

one is additional unit propagation caused by the learned clauses during the simulation phase. While the first benefit should lead to less memory usage and a shorter selection phase, the second benefit should lead to an improved simulation phase and thus fewer simulations and less time should be needed to find a solution. Our experiments in Section 6 show, that the additional usage of clause learning greatly improves the performance of the MCTS-based algorithm.

4 Parallelization

In the previous sections we showed that the performance of the MCTS-based algorithm can be improved by using SAT solving techniques such as clause learning and unit propagation. However, the current implementation of the algorithm cannot compete with established solvers. But, as Previti et. al. [Pr11] already pointed out, there may be value in using it in parallel environments. In this section we will focus on how to integrate the MCTS-based approach into a parallel SAT solver.

Most parallel SAT solvers follow one of two approaches namely search splitting and portfolio searches [MML12]. In the first one, the search space is divided into multiple sub spaces that are searched by different solvers. In the second approach multiple solvers that differ in their search strategies are used to solve the complete problem. In both approaches the different solver instances may communicate through the sharing of learned clauses.

When using backtracking based algorithms, the import of a learned clause into another solver causes some overhead, as it may be conflicting for the current variable assignment or a unit clause may exist whose propagation would lead to a conflict. When importing a clause, one has to make sure that the solver stays in a non-conflicting state [MML12]. Especially when multiple clauses are imported that process may cause computational overhead.

While this overhead exists for backtracking based solvers, MCTS-based algorithms start their search from the root node after each iteration. At that point of the algorithm, an arbitrary number of clauses can be added without creating computational overhead. Our approach to use the MCTS-based algorithm in one of the described parallel SAT solving scenarios is to pass the learned clause to the other solvers after the simulation phase and import the new clauses at the beginning of each iteration.

When following this approach the import of new clauses may not cause overhead, but as for example Goldberg et. al. [GN02] point out, the storage of all learned clauses can require too much memory usage. While this is already a problem for single threaded SAT solvers, the usage of multiple solvers in a parallel solver causes a higher number of learned clauses and thus even more memory usage. Additionally, the usage of more clauses in the MCTS-based CDCL solver leads to additional effort to keep the clauses up to date when assigning variables. To reduce this effect we use a similar approach to Goldberg et. al. [GN02] and delete the learned clauses with the lowest value after a fixed number of MCTS

iterations, where the value of each clause is calculated using its length, i.e. the number of variables in the clause, its global activity, i.e. the number of times the clause was responsible for a conflict in one of the used solvers, and its age.

5 Probability Heuristics

The previous sections defined the simulations of the MCTS-based CDCL solver to assign the variables of the formula uniformly at random. While this is an approach that can be used to solve SAT and is quite standard when using MCTS, it is also common to use domain specific knowledge – if it is available – to weight the probabilities in the simulation phase [Br12]. This section focuses on using knowledge that can be extracted from the given SAT formula as well as from the learned clauses to weight the probabilities.

In backtracking based SAT solvers the decision to which value to assign the variables is made using the *Phase Selection Heuristic*, where one approach is to assign a variable x_i to 1 if the literal x_i occurs more often in the formula than $\neg x_i$ and vice versa. We adapted this approach and used probabilities according to equation (2) during the simulation phase, where $num(x_i)$ is the number of occurrences of literal x_i in the formula and $P(x_i = 1)$ is the probability of assigning variable x_i to 1.

$$P(x_i = 1) = \frac{num(x_i)}{num(x_i) + num(\neg x_i)} \tag{2}$$

Note that the number of occurrences of a literal in the formula changes during the course of the algorithm because of the newly added clauses. We experimented with different probabilities when solving benchmark problems, but were not able to reach clear results, meaning that for some problems the probabilities according to equation (2) performed better and for others the uniform random assignment outperformed the competitors.

6 Experiments

To verify the existence of the mentioned benefits and the general improvement of the MCTS-based solver by using CDCL, we implemented a MCTS-based SAT solver as specified in Section 2.3 as well as all extensions of the algorithm that were introduced in this paper. We used them to solve a number of SAT encoded graph coloring and planing problems[3] and compared the results of the different variants. To reach results that are more robust against other activities on the benchmark system, we ran every variant a hundred times on every problem and averaged the results.

[3] All SAT encodings were taken from `http://www.cs.ubc.ca/~hoos/SATLIB/benchm.html`

Figure 3 shows the average running time for solving graph coloring problems when using clause learning and when not. The data shows that the algorithm only needed less than half of the running time when using clause learning. While the pure MCTS solver performed similar or even slightly better on easy problems, i.e. problems that could generally be solved in little time, the MCTS-based CDCL solver performed significantly better on harder problems. One reason for this might be, that the clause learning produces computational overhead that is not necessary for easy problems, while the benefits of the clause learning have a bigger impact on harder problems. For the planning problems, which are of bigger size than the graph coloring problems, the algorithm without clause learning mostly did not terminate in reasonable time and thus only the results of the MCTS-based CDCL solver are mentioned below. This phenomenon may indicate, that the clause learning will have an even bigger impact on harder problems.

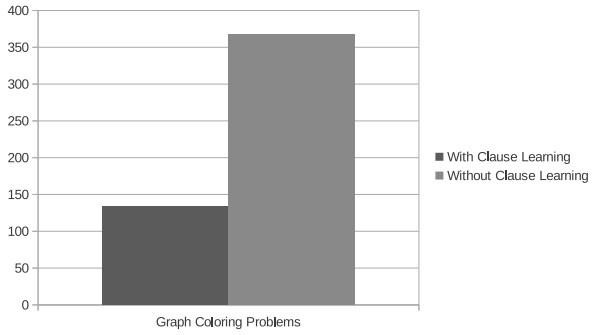


Fig. 3: Average running time in milliseconds for solving graph coloring problems

Table 1 shows the average number of created and pruned nodes for the graph coloring and planing problems. It shows that for the first problem class, nine percent of the created nodes could be pruned due to information gained by the learned clauses and that for the second class, the pruning percentage is even higher at nearly 25 percent.

	Created Nodes	Pruned Nodes	Ratio
Graph Coloring Problems	26.26	2.61	0.09
Planning Problems	193.79	48.26	0.25

Tab. 1: Average number of created and pruned nodes for graph coloring and planing problems

These results show that the algorithm performs significantly better when clause learning is used and that the percentage of pruned nodes even increases for the planning problems, which consist of more than twice as many clauses than the graph coloring problems.

Additionally we tested how the performance of the algorithm changes when using the probability heuristic as introduced in section 5. Figure 4 shows that the MCTS-based CDCL solver that uses the probability heuristic performs slightly worse than the uniform random variant, but still better than the algorithm that does not use clause learning. However, the

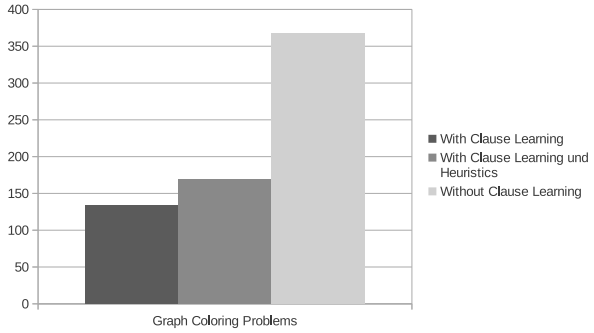


Fig. 4: Average running time in milliseconds for solving graph coloring problems when using the probability heuristic as introduced in section 5 in comparison to the variants that use uniform random simulations.

usage of the probability heuristic did improve the performance of the MCTS-based CDCL solver on single problems and thus may be useful when used as part of a solver portfolio.

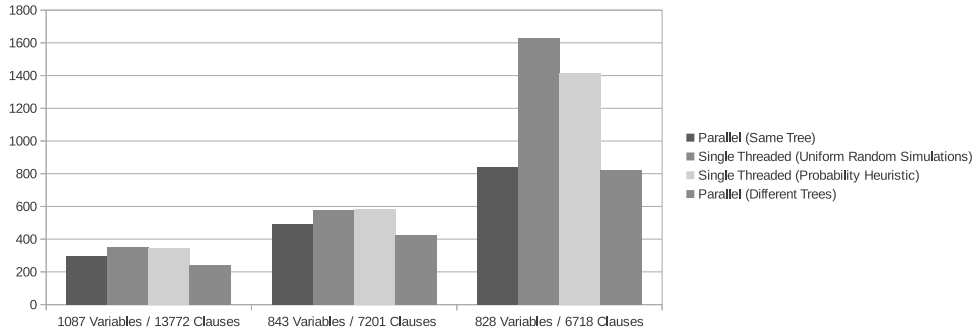


Fig. 5: Average running time for solving different planning problems in parallel and single threaded.

To test this hypothesis and, whether the performance of the algorithm can be improved when running four different solver instances in a parallel approach as described in section 4, we used this approach to solve different SAT instances and compared the results to those of the single threaded variants. Additionally we used two different variants to parallelize our solver. In the first variant the instances of the solver work on the same search tree, while in the second variant each instance uses its own search tree. In both variants we used different values for the exploration constant of the UCT formula as well as different simulation probabilities for the different solver instances. Figure 5 shows the average running time of the parallel and the single threaded variants when solving planning problems of different sizes.

Our experiments showed that the usage of multiple MCTS-based CDCL solvers improves

the performance of the algorithm when using the same search tree as well as when using different search trees, while the latter variant performed slightly better. Only on some smaller graph coloring problems the single threaded variant performed similar or even better. Again, this phenomenon can be explained by the overhead of creating threads and synchronizing the clause sharing, which has a bigger impact on smaller problems.

7 Conclusion

This paper introduced a Monte Carlo Tree Search based Conflict-Driven Clause Learning SAT solver and showed that the usage of CDCL significantly improves the performance of the solver in both, memory usage and computing time, by pruning the search tree and directing the simulations in better directions via unit propagation on the learned clauses.

But even with this performance improvement our current implementation of the MCTS-based CDCL solver could not compete with established SAT solvers. Nevertheless the performance improvement that was reached by the addition of CDCL showed that the algorithm benefits from the integration of known SAT solving techniques. In order to determine whether our approach can be further improved and be the basis of a competitive SAT solver, one additional research topic would be to investigate the usage of preprocessing techniques, restarts and other features of state-of-the-art SAT solvers in the MCTS-based algorithm.

Additionally we introduced a way to use multiple solver instances in parallel and showed that our approach can easily be integrated in a multi threading environment. While our experiments showed, that the single threaded variant yielded similar or slightly better results on smaller problems, the parallel variant performed superior on bigger problems. However, we used very similar configured solver instances in the parallel variant, that only differed in their values for the exploration constant in the UCT formula and their simulation probabilities, and thus were not able to fully benefit from the usage of different search strategies. A next research step would be to integrate the MCTS-based CDCL solver in a portfolio solver that uses a range of different search strategies and algorithms and investigate its performance.

References

[Br12] Browne, Cameron; Powley, Edward; Whitehouse, Daniel; Lucas, Simon M.; Cowling, Peter I.; Rohlfshagen, Philipp; Tavener, Stephen; Perez, Diego; Samothrakis, Spyridon; Colton, Simon: A Survey of Monte Carlo Tree Search Methods. 4(1):1–43, 2012.

[DP60] Davis, Martin; Putnam, Hilary: A computing procedure for quantification theory. Journal of the ACM (JACM), 7(3):201–215, 1960.

[GGW06] Gupta, Aarti; Ganai, Malay K.; Wang, Chao: SAT-Based Verification Methods and Applications in Hardware Verification. In (Bernardo, Marco; Cimatti, Alessandro,

eds): Formal Methods for Hardware Verification: 6th International School on Formal Methods for the Design of Computer, Communication, and Software Systems, SFM 2006, Bertinoro, Italy, May 22-27, 2006, Advanced Lectures. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, pp. 108–143, 2006.

[GN02] Goldberg, E.; Novikov, Y.: BerkMin: A fast and robust SAT-solver. In: Proceedings 2002 Design, Automation and Test in Europe Conference and Exhibition. pp. 142–149, 2002.

[GR16] Goffinet, Jack; Ramanujan, Raghuram: Monte-Carlo Tree Search for the Maximum Satisfiability Problem. In (Rueher, Michel, ed.): Principles and Practice of Constraint Programming: 22nd International Conference, CP 2016, Toulouse, France, September 5-9, 2016, Proceedings. Springer International Publishing, Cham, pp. 251–267, 2016.

[Li15] Liang, Jia Hui; Ganesh, Vijay; Zulkoski, Ed; Zaman, Atulan; Czarnecki, Krzysztof: Understanding VSIDS branching heuristics in conflict-driven clause-learning SAT solvers. In: Haifa Verification Conference. Springer, pp. 225–241, 2015.

[Lo13] Loth, Manuel; Sebag, Michèle; Hamadi, Youssef; Schoenauer, Marc: Bandit-based Search for Constraint Programming. In (Schulte, Christian, ed.): International Conference on Principles and Practice of Constraint Programming. volume 8124, Springer Verlag, Uppsala, Sweden, pp. 464–480, September 2013.

[MML12] Martins, Ruben; Manquinho, Vasco; Lynce, Inês: An overview of parallel SAT solving. Constraints, 17(3):304–347, 2012.

[MSLM09] Marques-Silva, Joao P.; Lynce, Ines; Malik, Sharad: Conflict-Driven Clause Learning SAT Solvers. chapter 4, pp. 131–153, 2009.

[Mu14] Munos, Rémi: From Bandits to Monte-Carlo Tree Search: The Optimistic Principle Applied to Optimization and Planning. Technical report, 2014. 130 pages.

[Pr11] Previti, Alessandro; Ramanujan, Raghuram; Schaerf, Marco; Selman, Bart: Monte-Carlo Style UCT Search for Boolean Satisfiability. In (Pirrone, Roberto; Sorbello, Filippo, eds): AI*IA 2011: Artificial Intelligence Around Man and Beyond: XIIth International Conference of the Italian Association for Artificial Intelligence, Palermo, Italy, September 15-17, 2011. Proceedings. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, pp. 177–188, 2011.

[SBSV88] Stephan, P.; Brayton, R.K.; Sangiovanni-Vincentelli, A.L.: Combinational test generation using satisfiability. Pointer swizzling at page fault time: efficiently and compatibly supporting huge address spaces on standard hardware, 7(9):1167–1176, 1988.

[Zh01] Zhao, Ying; Zhang, Lintao; Malik, Sharak; Madigan, Conor F.; Moskewicz, Matthew W.: Chaff: Engineering an Efficient SAT Solver. 2001.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 2561

Tsunami: Anfrage-getriebene Anbindung von Datenquellen an ein Datenmanagementsystem

David Haller[1]

Abstract: Die Beantwortung von analytischen Anfragen erfordert oft die Anbindung von externen heterogenen Datenquellen an ein Datenmanagementsystem. Klassische ETL-basierte Ansätze erfordern jedoch die vorherige zeitaufwendige Definition eines einheitlichen Schemas. Existierende Lösungsansätze beschränken sich auf Performance-Optimierung von ETL oder lassen sich nur aufwendig in bestehende Software-Werkzeuge und Arbeitsabläufe integrieren. Wir schlagen einen Ansatz vor, der SQL-Anfragen als partielle Schemadefinitionen für die Datenintegration verwendet. Datenquellen und zugehörige Anfragen werden automatisch für eine spätere Wiederverwendung gespeichert. Es wird eine generische Architektur vorgestellt, welche diese Funktionalität durch einen Proxy-Treiber erbringt. Durch die Evaluation eines Prototyps wird gezeigt, dass der Anwender verglichen mit klassischem ETL Zeit sparen kann, weniger Arbeitsschritte ausführen muss und eigenständiger arbeiten kann, da er den gesamten Anbindungsprozess durch Formulierung seiner Anfrage steuert.

Keywords: Anfrage-getrieben, minimal-invasiv, partielles Schema, SQL, JDBC-Proxy-Treiber

1 Motivation

Die Analyse großer Datenmengen ist in Wirtschaft und Wissenschaft zu einer immer wichtigeren Tätigkeit geworden. Die Datenquellen für diese Analysen stammen dabei zunehmend seltener ausschließlich aus dem eigenen Unternehmen oder der eigenen Forschungseinrichtung. Es ist hingegen immer häufiger der Fall, dass spontan fremde Datenquellen für eine analytische Anfrage schnell zur Verfügung stehen müssen [Wa17a]. Eine Voraussetzung für derartige Analysen ist die Schaffung einer Möglichkeit, Daten aus verschiedenen heterogenen Datenquellen gemeinsam innerhalb eines Systems verwenden zu können.

Der klassische ETL-basierte Ansatz erfordert die Definition eines Zielschemas, bevor erste Anfragen ausgeführt werden können. Diese Trennung von Schema- und Anfragedefinition hat einen sehr hohen Zeitbedarf zur Folge und lohnt sich häufig nicht, wenn nur Teile einer Datenquelle kurzfristig für Anfragen benötigt werden. Weiterhin entsteht ein hoher Kommunikationsaufwand, da das gemeinsame Schema mit allen Benutzern der Datenquellen zu vereinbaren ist, was eine zentrale Administration erforderlich macht. Explorative Anfragen, also die experimentelle Verwendung von neuen Datenquellen, sind mit diesem Ansatz nur schwer umzusetzen. Neue Datenquellen können nicht spontan durch den Benutzer in das System eingebunden werden. Zudem ist eine zweckmäßige Schemadefinition a priori meist nicht bekannt, sondern wird erst durch die Arbeit mit den Datenquellen iterativ entwickelt.

[1] FAU Erlangen-Nürnberg david.haller@fau.de

doi:10.18420/in2017_258

2 Lösungsansatz

Um mit diesen Problemen besser umgehen zu können, soll bei TSUNAMI auf die explizite Definition von Schemata verzichtet werden. Stattdessen dienen die SQL-Anfragen selbst als partielle Schemadefinitionen. Der Anwender kann also durch die Formulierung seiner Anfrage seinen konkreten Datenbedarf spezifizieren, der als partielles Schema extrahiert werden kann. Dabei kann auch auf externe Datenquellen Bezug genommen werden. Dies können unter anderem semistrukturierte Dateien im JSON- oder CSV-Format sein, die entweder lokal im Dateisystem oder auf einem Webserver gespeichert sind. Wie in List. 1 zu erkennen ist, wird das Schema der Datenquelle in der `select`-Klausel definiert, während in der `from`-Klausel der Ort der Datenquelle angegeben wird. Eine solche Anfrage kann nun sofort ausgeführt werden, ohne dass der Benutzer manuell Vorbereitungen treffen muss. Das System soll sich automatisch darum kümmern, die referenzierten Datenquellen zu beschaffen und einzubinden. Durch diese SQL-Erweiterung kann der Anwender neue Datenquellen sofort benutzen, ohne einen ETL-Prozess abwarten zu müssen. Falls tatsächlich notwendig, kann eine umfassende Datenintegration zu einem späteren Zeitpunkt erfolgen. Damit die partiellen Schemadefinitionen nicht verloren gehen, werden alle Anfragen protokolliert. Dieses Protokoll wird mit allen Benutzern des Systems geteilt; es erfüllt somit eine ähnliche Funktion wie ein Metadatenkatalog. Die verwendeten Datenquellen werden in ein zentrales Repository hochgeladen, um ihre dauerhafte Verfügbarkeit sicherzustellen.

```
select concat(columns[0], ' ', columns[1]) as full_name,
       cast(columns[2] as date) as birth_year,
       extract(year from columns[3]) as hire_year
from upload.'http://example.org/employee.csv';
```

List. 1: Anfrage-getriebene Datenintegration anhand eines SQL-Beispiels

3 Verwandte Arbeiten

Es gibt bereits eine Reihe von vorhanden Ansätzen, die ähnliche Ziele wie TSUNAMI verfolgen. DrillBeyond [Eb15] ermöglicht die Einbindung von Webquellen in SQL-Queries, erfordert jedoch das manuelle Pflegen eines Indexes. DataHub [Bh15] erlaubt das gemeinsame Verwalten von Transformationsskripten, ist aber nicht Anfrage-getrieben. SQLShare [Ho13] hingegen arbeitet Anfrage-getrieben, ist aber nur über eine spezielle Webanwendung nutzbar und lässt sich nicht in bestehende Analysewerkzeuge integrieren. Adaptive Schema Databases [Sp17] ist ein probabilistischer Ansatz, der aber auf explizitem Userfeedback basiert, das zum Aufbauen einer Heuristik genutzt wird, um automatisch Schemata für neue Datenquellen zu generieren. Außerdem gibt es noch ETL-nahe Ansätze, die sich aber auf Performance-Optimierungen konzentrieren, wie Lazy ETL [Ka13], RiTE [TPL08], und AScale [Ko16]. Auch einige kommerzielle Datenbanksysteme [Ora] [Mi] ermöglichen über User Defined Table Functions, semistrukturierte Daten automatisiert zu importieren. Man kann diesen Ansatz als ELT (Extract, Load, Transform) bezeichnen. Dieser hat aber die gleichen Nachteile wie ETL, nur dass die Transformation hier direkt in der Datenbank durch materialisierte Views erfolgt. Schema- und Anfragedefinition finden also weiterhin getrennt statt.

4 Anfrage-getriebene Anbindung von Datenquellen

4.1 Anfragevorverarbeitung

Nachdem der Benutzer seine Anfrage formuliert hat (siehe List. 1), wird diese zuerst protokolliert. TSUNAMI sucht anschließend in der Anfrage nach Datenquellen, die mit dem Pseudo-Schema `upload` gefolgt von einer Quellen-URI gekennzeichnet sind. Falls eine Datenquelle noch unbekannt ist oder seit der letzten Benutzung aktualisiert wurde, wird sie automatisch heruntergeladen und zum zentralen Repository hinzugefügt. Die Anfrage wird nun so umgeschrieben, dass die vom Benutzer angegebene Quellen-URI der Datenquelle durch einen Verweis auf die korrespondierende Datenquelle im Repository ersetzt wird. Schließlich kann die Anfrage sofort ausgeführt werden. Die spontane Anbindung von Datenquellen wird dadurch ermöglicht, dass keine vorherige Konfiguration erforderlich ist. Es ist optional möglich, das Ergebnis einer `select`-Anfrage als neue Tabelle abzuspeichern. Dies erfolgt über eine Anweisung nach dem Muster `create table <name> as <select-query>`.

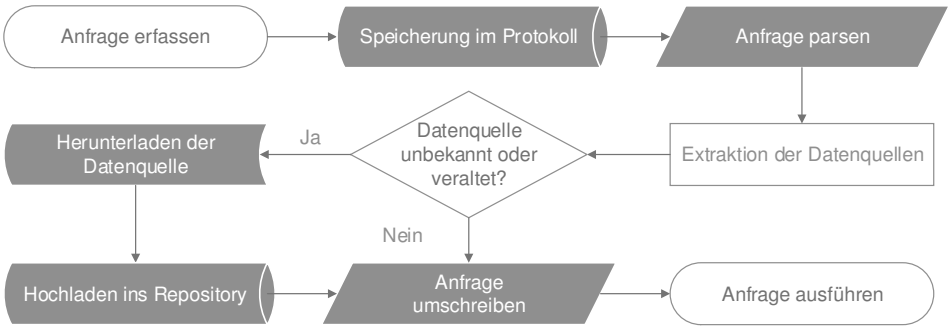


Abb. 1: Ablaufdiagramm der Anfragevorverarbeitung

4.2 Architektur

Die Implementierung der beschriebenen Funktionalität zur Anfragevorverarbeitung erfolgt mittels eines JDBC-Proxy-Treibers. Dieser leitet alle Anfragen an den originalen JDBC-Treiber weiter, kann jedoch Anfragen vor der Weiterleitung abfangen und modifizieren. Auf diese Weise lassen sich SQL-Erweiterungen implementieren, ohne das dahinterliegende Datenmanagementsystem oder die darauf zugreifenden Clients anpassen zu müssen. TSUNAMI kann daher mit jedem Werkzeug eingesetzt werden, das über eine JDBC-Schnittstelle verfügt. Der interne Mechanismus des Treibers nutzt die Reflection-API von Java [Orb]. Die Objekte des Original-Treibers, die `java.sql.Statement` implementieren, werden dabei in ein Wrapper-Objekt eingepackt, sodass alle Aufrufe von `executeQuery()` und ähnlichen Methoden abgefangen werden können. TSUNAMI führt dann die in Abb. 1 beschriebenen Schritte aus, bevor die umgewandelte Anfrage an die SQL-Engine weitergereicht wird. Der Prototyp nutzt Apache Drill [Apa] als SQL-Engine und Apache Hadoop [Apb] als Repository, als Query-Log kommt eine relationale Datenbank zum Einsatz. Apache Drill ist

eine freie SQL-Engine, die sich auf die Verarbeitung von Anfragen auf semistrukturierte Daten spezialisiert hat. Drill basiert auf den Ideen von Google Dremel [Me10]. Durch den Proxy-Treiber-Ansatz kann Drill um fehlende Features erweitert werden, ohne eine Abhängigkeit zu Drill aufzubauen.

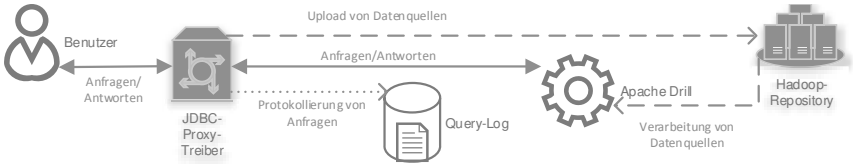


Abb. 2: Architekturskizze von TSUNAMI

5 Evaluation

5.1 Verknüpfung heterogener Datenquellen

Der Anwender kann die Anbindung einer zusätzlichen Datenquelle im Optimalfall durch eine einzige SQL-Anfrage (siehe List. 1) steuern. Dadurch profitiert der Anwender von der Ausdrucksmächtigkeit von SQL und ist nicht auf den möglicherweise beschränkten Funktionsumfang eines grafischen ETL-Werkzeuges angewiesen. Externe Datenquellen können direkt im vorgesehenen Analysekontext referenziert und explorativ erkundet werden. Falls beispielsweise die aufbereiteten Daten für eine konkrete SQL-Anfrage ungeeignet sind, können notwendige Transformationen und Schemaänderungen durch das schlichte Anpassen der SQL-Anfrage umgesetzt werden. Ein Wechsel in das ETL-Werkzeug und das erneute Exportieren des Transformationsergebnisses in das Datenmanagementsystem entfällt. Dadurch spart der Anwender Zeit und muss weniger einzelne Arbeitsschritte ausführen, außerdem kann er seine vertraute Anfragesprache und sein Analysewerkzeug weiterhin benutzen. Die neu angebundenen Datenquellen werden automatisch in einer homogenen Ausführungsumgebung gespeichert und sind auch für andere Benutzer verfügbar, sodass eine manuelle Verwaltung nicht erforderlich ist.

5.2 Leistungsfähigkeit

Es stellt sich die Frage, wie sich der Reflection-basierte Ansatz auf die Performance auswirkt. Zu diesem Zweck wird der normale Apache Drill Treiber mit dem TSUNAMI-Treiber in zwei Konfigurationen verglichen: In der minimalen Konfiguration werden alle TSUNAMI-Funktionen deaktiviert; die SQL-Anfrage wird unverändert an Apache Drill durchgereicht. Die Standard-Konfiguration führt dagegen alle Funktionen aus. Als Beispiel wird eine simple Aggregatsanfrage verwendet (siehe List. 2).

```
select max(salary) from cp.'employee.json';
```

List. 2: Anfrage zum Testen der Performance von TSUNAMI und Apache Drill

Die Datei `employee.json` liegt bei den ersten beiden Testreihen bereits im Repository, bei der letzten auf der lokalen Festplatte. Wie in Tab. 1 zu sehen ist, beträgt der reine

Reflection-Overhead ca. 37,6 ms; der gesamte Tsunami-Overhead summiert sich damit auf 124,6 ms für diese Anfrage. Der Reflection-Overhead ist konstant, da er nicht von den Eingabedaten abhängt; bei komplexeren Anfragen und größeren Datenquellen fällt er also immer weniger ins Gewicht. Die Laufzeit hängt damit wie bei ETL hauptsächlich von der Geschwindigkeit der Netzwerkverbindung und der Rechenleistung ab.

Iteration	Apache Drill	Tsunami (min)	Tsunami (full)
1	151 ms	182 ms	256 ms
2	133 ms	156 ms	305 ms
3	149 ms	179 ms	260 ms
4	134 ms	202 ms	279 ms
5	154 ms	190 ms	244 ms
ø	144,2 ms	181,8 ms	268,8 ms

Tab. 1: Dauer der Ausführung von List. 2

6 Ergebnisse

Tsunami hat gezeigt, dass eine Anfrage-getriebene Anbindung von Datenquellen softwaretechnisch umsetzbar und in der Praxis anwendbar ist. Dabei ist eine modulare Software entstanden, die leicht um zusätzliche Funktionen erweitert werden kann und sich in bestehende Analysewerkzeuge integrieren lässt. Der Benutzer kann durch Tsunami seine vertraute Anfragesprache verwenden, um schnell bisher unbekannte Datenquellen anzubinden. Es wurde mit Tsunami eine minimalinvasive Lösung umgesetzt, welche in die bestehenden Arbeitsabläufe nur geringfügig eingreift und keine zentrale Administration erfordert.

7 Ausblick

Tsunami soll später innerhalb des Ocean-Projektes zum Einsatz kommen. Das Ocean-Projekt [Wa17a, Wa17b, Wa16] beschäftigt sich mit der Erforschung und Entwicklung eines *Anfrage-getriebenen Wissenstransfersystems* (AWTS). Ein AWTS ermöglicht die Extraktion von Wissen aus Datenbankanfragen und die Weitergabe dieses Wissens an andere Benutzer des Systems. Das Anfrageprotokoll könnte dafür in Zukunft automatisch analysiert und das darin zugrundeliegende mentale Modell partiell extrahiert werden, um dem Benutzer bei der Formulierung seiner Anfrage durch das System zu helfen. So könnten geeignete Datenquellen automatisiert aufgefunden und vorgeschlagen werden. Das gleiche gilt für ähnliche Anfragen, die zuvor von anderen Benutzern verwendet wurden. Diese könnten nach geringer Modifikation auch für das aktuelle Problem des Benutzers relevant sein.

8 Danksagung

Mein besonderer Dank gilt Prof. Dr. Richard Lenz und Andreas Wahl vom Lehrstuhl für Datenmanagement an der Universität Erlangen für ihre fachliche und persönliche Unterstützung meiner Arbeit.

Literaturverzeichnis

[Apa] Apache Drill - FAQ. https://drill.apache.org/faq/, aufgerufen am 8.5.2017.

[Apb] HDFS Architecture. https://hadoop.apache.org/docs/r2.8.0/hadoop-project-dist/hadoop-hdfs/HdfsDesign.html, aufgerufen am 8.5.2017.

[Bh15] Bhardwaj, Anant; Bhattacherjee, Souvik; Chavan, Amit; Deshpande, Amol; Elmore, Aaron J.; Madden, Samuel; Parameswaran, Aditya G.: DataHub: Collaborative Data Science & Dataset Version Management at Scale. In: CIDR '15. S. 7, 2015.

[Eb15] Eberius, Julian; Thiele, Maik; Braunschweig, Katrin; Lehner, Wolfgang: Processing Multi-Result Open World SQL Queries. In: SSDBM'15. 2015.

[Ho13] Howe, Bill; Ribalet, Francois; Chitnis, Sagar; Armbrust, Ginger; Halperin, Daniel: SQLShare: Scientific Workflow Management via Relational View Sharing. CSE, S. 1–1, 2013.

[Ka13] Kargín, Yağız; Pirk, Holger; Ivanova, Milena; Manegold, Stefan; Kersten, Martin: Instant-On Scientific Data Warehouses. In: BIRTE'12, S. 60–75. 2013.

[Ko16] Kozielski, Stanisław; Mrozek, Dariusz; Kasprowski, Paweł; Małysiak-Mrozek, Bożena; Kostrzewa, Daniel: AScale: Big/Small Data ETL and Real-Time Data Freshness. CCIS, 613:315–327, 2016.

[Me10] Melnik, Sergey; Gubarev, Andrey; Long, Jing Jing; Romer, Geoffrey; Shivakumar, Shiva; Tolton, Matt; Vassilakis, Theo: Dremel: Interactive Analysis of Web-Scale Datasets. In: VLDB'10. S. 330–339, 2010.

[Mi] Table-Valued User-Defined Functions. https://technet.microsoft.com/en-us/library/ms191165(v=sql.105).aspx, aufgerufen am 8.5.2017.

[Ora] Using Pipelined and Parallel Table Functions. https://docs.oracle.com/cd/B19306_01/appdev.102/b14289/dcitblfns.htm, aufgerufen am 8.5.2017.

[Orb] The Reflection API. https://docs.oracle.com/javase/tutorial/reflect, aufgerufen am 8.5.2017.

[Sp17] Spoth, William; Sadat, Bahareh; Chan, Eric S; Gawlick, Dieter: Adaptive Schema Databases. In: CIDR '17. 2017.

[TPL08] Thomsen, Christian; Pedersen, Torben Bach; Lehner, Wolfgang: RiTE: Providing on-demand data for right-time data warehousing. In: ICDE'10. S. 456–465, 2008.

[Wa16] Wahl, Andreas M.: A minimally-intrusive approach for query-driven data integration systems. In: ICDEW'16. S. 231–235, 2016.

[Wa17a] Wahl, Andreas M.; Endler, Gregor; Schwab, Peter K.; Herbst, Sebastian; Lenz, Richard: Anfrage-getriebener Wissenstransfer zur Unterstützung von Datenanalysten. In: BTW'17. S. 165–174, 2017.

[Wa17b] Wahl, Andreas M.; Endler, Gregor; Schwab, Peter K.; Herbst, Sebastian; Lenz, Richard: We Can Query More than We Can Tell: Facilitating Collaboration Through Query-Driven Knowledge-Sharing. In: CSCW'17. S. 335–338, 2017.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 2567

Paralleler SAT-Solver mit Konfliktklauselbehandlung

Jil Tietjen[1]

Abstract: In diesem Paper wird ein paralleler SAT-Solver beschrieben, der durch Multithreading parallelisiert wird. Dabei ist das Besondere, dass verschiedene Solverparameter untersucht werden und ein Konfliktklauselhandling implementiert wird, welches auf einer Klassifikation der Konfliktklauseln basiert. Als Benchmark wird der beliebig skalierbare Colored Graph von Knuth[Kn15] verwendet, womit möglichst unterschiedliche Eingabegrößen untersucht werden können. Der parallele SAT-Solver kann in einigen Fällen den sequentiellen SAT-Solver schlagen.

Keywords: parallel search, extended clause learning, CDCL SAT solver, Naive Bayes classifier

1 Einleitung

Das aussagenlogische Erfüllbarkeitsproblem (Satisfiability Problem) kommt in der Informatik in der Theorie und in der Praxis oft vor. SAT-Solver dienen dazu kombinatorischen Probleme effizient zu lösen, Verifikation vorzunehmen (nach einem geeigneten Mapping) oder praktische Probleme, wie zum Beispiel das Lösen von Sudokus oder die Stundenplanung. Es soll entschieden werden, ob eine aussagenlogische Formel erfüllbar ist oder nicht. Hierfür wird eine erfüllende Belegung für die Variablen (mit true oder false) gesucht.
Da SAT-Solver in den letzten Jahren an Relevanz zugenommen haben, wird bei der SAT-Competition[2] regelmäßig versucht, bestehende Solver zu übertreffen. Dabei ist eine mögliche Herangehensweise, SAT-Solver zu parallelisieren.
Ein gängiges Vorgehen ist der kompetitive Ansatz, bei dem mehrere Instanzen eines sequentiellen SAT-Solvers mit verschiedenen Parametern ausgeführt werden. Dabei arbeitet jede Instanz auf der gesamten Formel [SH11].
In diesem Paper wird ein paralleler SAT-Solver, beschrieben, der auf einem bestehenden sequentiellen SAT-Solver basiert und durch ein Konfliktklauselhandling mit Hilfe von Algorithmen aus dem Bereich des Machine-Learnings erweitert wird, die in diesem Zusammenhang noch nicht eingesetzt wurden. Es soll überprüft werden, ob der parallele SAT-Solver in umfangreichen Benchmarks den sequentiellen SAT-Solver schlagen kann.

[1] Universität Bremen, AG Rechnerarchitektur, Bibliothekstraße 1, 28359 Bremen, jiltietj@informatik.uni-bremen.de
[2] http://baldur.iti.kit.edu/sat-competition-2016/index.php?cat=results

doi:10.18420/in2017_259

2 Grundlagen

2.1 Satisfiability Problem

Das Erfüllbarkeitsproblem (kurz: SAT) ist ein Problem der Aussagenlogik, welches vermutlich nicht in polynomieller Zeit gelöst werden kann, da es NP-vollständig ist. Als Eingabe gibt es einen aussagenlogischen Ausdruck **A** in konjunktiver Normalform, für den herausgefunden werden soll, ob er erfüllbar ist oder nicht. Es wird eine erfüllende Belegung der Variablen mit true oder false gesucht. Es muss eine Belegung geben, so dass jede Klausel erfüllt ist [Co71].
Der SAT-Solver kann feststellen, ob eine Formel erfüllbar ist oder nicht. Zur Lösung des Erfüllbarkeitsproblems wird häufig der Davis-Putnam-Logemann-Loveland-Algorithmus (kurz: DPLL) verwendet. Das heißt, dass eine erfüllende Variablenbelegung schrittweise konstruiert wird. Sobald ein Konflikt auftritt werden mittels Backtracking Teile der Belegung rückgängig gemacht [AB09].
Viele SAT-Solver verwenden das Klauselllernen (Conflict-Driven Clause Learning) [PB03]. Kann eine Formel aufgrund eines Konfliktes in der Belegung der Variablen nicht mehr erfüllt werden, wird eine neue Klausel hinzugefügt, die diese Belegung ausschließt. Das Hinzufügen der Klauseln verändert die Erfüllbarkeit der Formel nicht.

2.2 Naive Bayes

Naive Bayes ist ein Klassifikator, der Objekte zu einer Klasse zuordnet, zu der das Objekt mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit gehört [Zh04]. Die Klassifikatoren vereinfachen das Problem durch die Voraussetzung der Unabhängigkeitsannahme. Es wird angenommen, dass die Merkmale unabhängig voneinander sind, gegeben der Klasse. Die Annahme ist stark vereinfachend, aber verfälscht das Ergebnis in der Praxis kaum. Bevor das Naive Bayes benutzt wird, muss der Klassifikator trainiert werden. Dazu werden Trainingsdaten eingesetzt, mit denen gelernt wird, welche Abhängigkeiten die Merkmale von der Klasse haben.

3 Paralleler SAT-Solver mit Konfliktklauselhandling

Die erste Herangehensweise ist, dass ein bestehender sequentieller SAT-Solver parallel auf verschiedenen Threads versucht die Formel zu lösen. Dabei werden unterschiedliche Suchparameter für die einzelnen SAT-Solver verwendet. Sobald ein SAT-Solver eine Lösung findet, wird der Vorgang beendet. Somit wird der kompetitive Ansatz in diesem Paper verfolgt [SH11].
Beim Verwenden der unterschiedlichen Suchparameter kann festgestellt werden, dass diese zu sehr unterschiedlichen Laufzeiten führen und teilweise den sequentiellen SAT-Solver

schlagen. Beispielsweise kann eine andere Restart-Strategie auf bestimmten Formeln dazu führen, dass nur noch ein Fünftel der Zeit benötigt wird. Das liegt daran, dass der sequentielle SAT-Solver eine Default-Suchstrategie verwendet, die nicht für jedes Problem optimal ist. Somit kann eine der Suchstrategien beim parallelen SAT-Solver besser auf das Problem abgestimmt sein und so schneller zu einer Lösung kommen. Aus diesem Grund werden aus dem Repertoire der bestehenden SAT4J-Suchstrategien möglichst unterschiedliche Suchparameter gewählt, um möglichst viele Probleme abzudecken. Diese Suchparameter unterscheiden sich durch Einstellungen, wie unterschiedliche Restart-Strategien, Datenstrukturen und Vereinfachungsstrategien. Es gibt jeweils so viele Threads, wie es auch Prozessoren in dem jeweiligen Rechner gibt. Sind zum Beispiel acht unterschiedliche Threads möglich, können acht unterschiedliche Suchstrategien verwendet werden. Dies erhöht die Wahrscheinlichkeit, dass eine bessere Laufzeit erzielt wird als die Default-Variante des sequentiellen SAT-Solvers.

Dieser kompetitve Ansatz wird zusätzlich durch ein Konfliktklauselhandling erweitert. Hat einer der Solver eine Konfliktklausel gefunden, könnte diese auch für die anderen Solver nützlich sein. Daher wird die Konfliktklausel an die anderen Solver übergeben. Hierbei dürfen allerdings nicht zu viele Klauseln geteilt werden, da sonst der Aufwand für das Übergeben und Verwalten der Klauseln zu hoch wird. Daher ist es nötig, die nützlichen Konfliktklauseln herauszufiltern.

Das Besondere beim Konfliktklauselhandling in dieser Arbeit ist, dass ein Naive-Bayes-Klassifikator verwendet wird, mit dem die Konfliktklauseln klassifiziert werden. Durch die Klassifikation können die Konfliktklauseln in Klassen geeigneter und ungeeigneter Konfliktklauseln eingeteilt werden. Es werden nur die geeigneten Konfliktklauseln an die verschiedenen Solver übergeben, so dass diese beim Lösen des Problems auf alle neu gefundenen Konfliktklauseln, die als geeignet klassifiziert wurden, zugreifen können. Ziel ist es, dass dadurch die Performance des parallelen SAT-Solvers gesteigert wird.

Der Klassifikator wird durch Trainingsdaten[3] mit bekannter Klassifikation anhand von fünf Merkmalen trainiert.

Das erste Merkmal ist, ob die Klausel eine Horn-Klausel ist, oder nicht. Eine Horn-Klausel ist eine Klausel mit höchstens einem positiven Literal. Ein Merkmal von Horn-Formeln (Formeln, die nur aus Horn-Klauseln bestehen) ist, dass sie eine bessere Berechnungszeit haben als allgemeine SAT-Instanzen. Es ist allerdings nicht klar, ob die Horn-Klauseln in SAT-Instanzen einen essentiellen Vorteil bringen oder nicht. Zwei weitere Merkmale sind, ob es positive bzw. negative Literale in der Klausel gibt. Da das Vorkommen einer Variable oder eines Literals entscheidend für die Belegung einer Variablen sein kann, ist dies ebenfalls ein Merkmal. Das vierte Merkmal ist die Größe der einzelnen Klauseln. Generell sind kleinere Konfliktklauseln zu bevorzugen, da sie häufiger für Unit Propagation verwendet werden können [MK11]. Das letzte Merkmal ist die Distanz der Indizies der Variablen innerhalb einer Klausel. In der Praxis lässt sich oft beobachten, dass Variablen, die eng zusammenhängen, auch nahe Indizes haben [Bj09]. Für die Klausel $(x_3 \vee \neg x_9 \vee x_{15})$ wäre die maximale Distanz beispielsweise $15 - 3 = 12$. Das Ergebnis zeigt dann, wie nah

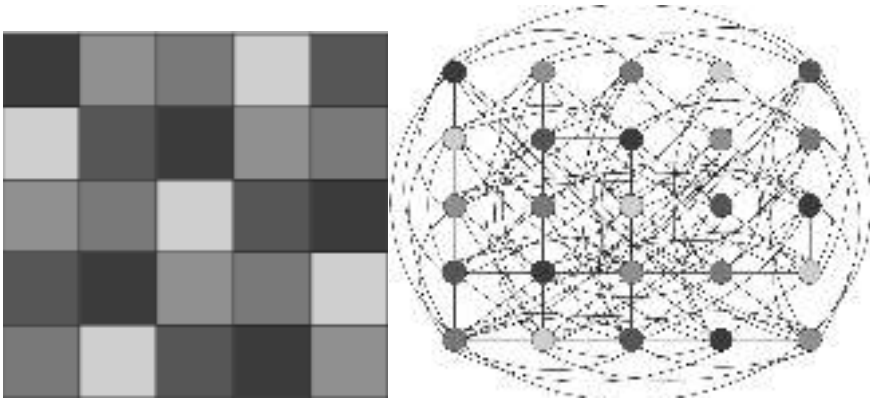
[3] SAT-Instanzen für das Generieren der Trainingsdaten stammen von http://www.cs.ubc.ca/~hoos/SATLIB/benchm.html

sich die Literale in einer Klausel stehen.
Es wurden weitere Merkmale ausprobiert, die sich aber als nicht performant erwiesen haben, da Merkmale bei denen die komplette Formel durchlaufen werden muss zu viel Zeit beanspruchen. Daher beruhen alle Merkmale nur auf einer einzelnen Klausel.
Zuerst muss das Naive Bayes Klassifikator trainiert werden. Dazu wird die Aktivität der Klausel betrachtet, das heißt, es wird gezählt, wie oft die Klausel ein Grund für einen Konflikt war. Hat die Klausel eine hohe Aktivitat wir die Klausel als geeignete Konfliktklausel eingestuft.
Die Datensätze werden anhand ihrer Merkmale bewertet und das Naive Bayes liefert zu jeder Konfliktklausel einen Wahrscheinlichkeitswert. Es werden unterschiedliche Wahrscheinlichkeiten (50%, 60%, 70%, 80% und 90%) verwendet. Das bedeutet, dass nur Konfliktklauseln an die anderen Solver übergeben werden, die den entsprechenden Wahrscheinlichkeitswert überschreiten und dadurch als geeignete Konfliktklausel klassifiziert wurden. Hier kann durch Ausprobieren herausgefunden werden, welches Verhältnis am Besten geeignet ist. Ist der Wahrscheinlichkeitswert zu hoch, ist der Aufwand zu groß, die Konfliktklauseln zu bewerten im Verhältnis zu der Anzahl der Konfliktklauseln, die gefunden werden. Ist der Wert zu niedrig, sind es zu viele Konfliktklauseln, die übergeben werden und der Arbeitsaufwand wird zu hoch.
Die anderen Solver werden in ihrem Vorgang nicht unterbrochen, wenn ein Solver eine neue Konfliktklausel bildet. Die anderen holen sich die Konfliktklauseln, wenn sie keine Lösung gefunden haben und Backtracking vorgenommen werden muss. Hierbei wird an die entsprechende Stelle zurückgesprungen, bei der die Entscheidung für die Belegung getroffen wurde. Unter Berücksichtigung der neuen Konfliktklauseln wird eine neue Belegung vorgenommen. Durch diese Art des Vorgehens werden Nebenläufigkeitsprobleme vermieden.

4 Evaluation

Die Evaluation wird anhand des Colored Graph von Knuth [Kn15] durchgeführt. Das Besondere an diesem Benchmark ist, dass es beliebig skalierbar ist. Dadurch können Benchmarks in unterschiedlichen Größen generiert werden. Die Idee ist es, ein Schachfeld so einzufärben, dass es keine zwei Felder gleicher Farbe gibt, auf denen sich zwei Damen gegenseitig schlagen können. Man hat also einen ungerichteten Graphen mit n^2 Knoten. Zwei Knoten sind genau dann durch eine Kante verbunden, wenn sie sich in der gleichen Reihe, Spalte oder Diagonale befinden. Es wird nun eine n-Färbung dieses Graphen gesucht, wodurch ein klassisches Färben des Graphen auf einem speziellen Graphen stattfindet. Aus diesen Bedingungen werden die Klauseln für das Benchmark gebildet.
In Abbildung 1(a) sieht man ein Beispiel des Feldes für einen Colored Graph mit fünf verschiedenen Farben. Da es in jeder Diagonalen, Horizontalen und Vertikalen nur eine Farbe gibt, ist dieses Benchmark erfüllbar. Entsprechend zu dem Feld ergibt sich folgender Graph in Abbildung 1(b).
Der parallele SAT-Solver ist in Java geschrieben und basiert auf dem SAT4J-Solver. Als sequentieller Vergleich wird der unmodifizierte SAT4J-Solver mit Default-Suchstrategie

verwendet. Das Benchmark wurde auf einem Rechner mit einem Intel Xeon CPU $E3-1240\,V2$ mit 3, 40 GHz Taktfrequenz, 8 Kernen und einem 32 GB Arbeitsspeicher ausgeführt. In Tabelle 1 werden die Ergebnisse des Benchmarks dargestellt. Dabei wird gemessen,



(a) Schachfeld von Knuth für fünf Farben (b) Colored Graph von Knuth für fünf Farben

Abb. 1: Colored Graph von Knuth

wie lange der parallele SAT4J-Solver mit Konfliktklauselhandling benötigt eine Lösung zu finden im Vergleich zum sequentiellen SAT4J-Solver (p =paralleler SAT-Solver). SAT bedeutet, dass die Formel erfüllbar ist und UNSAT dementsprechend das Gegenteil. Durch

n	Ergebnis	SAT4J	p 50%	p 60%	p 70% Bayes	p 80% Bayes	p 90% Bayes
2	UNSAT	1	30	39	6	3	19
3	UNSAT	2	81	29	12	10	29
4	UNSAT	2	54	63	12	11	33
5	SAT	6	29	54	10	11	34
6	UNSAT	5953	11775	12191	5925	5919	8661
7	SAT	40	1047	873	63	31	411

Tab. 1: Ergebnisse des Benchmarks in ms

das Benchmark konnte herausgefunden werden, dass die Konfliktklauseln mit 80% das beste Ergebnis erzielen und dadurch den sequentielle SAT-Solver in zwei von sechs Fällen schlägt. Ist das Verhältnis zwischen der Anzahl der erstellen Konfliktklauseln und des Aufwandes zur Klassifikation der Konfliktklauseln geeignet gewählt, benötigt der parallele SAT-Solver eine geringere Laufzeit.
Zusätzlich wird der parallele SAT-Solver anhand von verschiedenen SAT-Instanzen[4] gegen den sequentiellen SAT-Solver getestet. Hierbei werden nur die Konfliktklauseln mit 80% verwendet, da damit die besten Ergebnisse beim Colored Graph erzielt werden. Die Ergebnisse sind in Tabelle 2 dargestellt und man sieht, dass der parallele SAT-Solver in drei

[4] SAT-Instanzen stammen von http://www.cs.ubc.ca/~hoos/SATLIB/benchm.html

Datei	Variablen/Klauseln	Ergebnis	SAT4J	parallel 80% Bayes
ssa7552-038	1501/3575	SAT	32	302
ssa0432-003	435/1027	UNSAT	19	23
aim-50-1_6-yes1-4	50/80	SAT	13	8
ssa2670-141	986/2315	UNSAT	43	50
ssa7552-159	1363/3032	SAT	17	9
2bitadd_11	649/1562	SAT	2738	56
aim-50-1_6-yes1-2	50/80	SAT	2	26
aim-100-1_6-no-2	100/160	UNSAT	1	17

Tab. 2: Ergebnisse des Benchmarks in ms

von acht Fällen den sequentiellen SAT-Sovler schlagen kann, also ist das Verhältnis ähnlich zu dem Benchmark des Colored Graph.

5 Fazit

In diesem Paper wurde ein paralleler SAT-Solver basierend auf einem bereits bestehenden SAT-Solver untersucht. Der parallele SAT-Solver verwendete ein besonderes Konfliktklauselhandling, indem die Konfliktklauseln anhand eines Naive Bayes bewertet und klassifiziert wurden.
Die Konfliktklauseln wurden anhand von unterschiedlichen Merkmalen klassifiziert und den anderen Solvern zur Verfügung gestellt. Dabei kam es drauf an, ab welcher Wahrscheinlichkeit eine Konfliktklausel als geeignete Konfliktklausel klassifiziert wurde.
Im Benchmark wurden die unterschiedlichen Werte für die Wahrscheinlichkeit gegenüber gestellt. Durch die Auswertung der Benchmarks lässt sich feststellen, dass die Wahrscheinlichkeit von 80% das beste Ergebnis erzielte und den sequentiellen SAT-Solver in zwei von sechs Fällen beim Colored Graph von Knuth schlug. Wie man im Benchmark sehen konnte, war es möglich mit diesem parallelen Ansatz einen sequentiellen SAT-Solver zu schlagen. Insbesondere bei erfüllbaren Formeln hat sich der parallele Ansatz als besser herausgestellt.

Literatur

[AB09] A. Biere, H.van Maaren, T. Walsh: Handbook of Satisfiabiliy. IOS Press, 2009.

[Bj09] Successful SAT Encoding Techniques, http://jsat.ewi.tudelft.nl/addendum/Bjork_encoding.pdf, Stand: 03.04.2017.

[Co71] Cook, S. A.: , The complexity of theorem-proving procedures, 1971.

[Kn15] Knuth, D. E.: , The Art of Computer Programming: Volume 4 Combinatorial Algorithms, 2015.

[MK11] M. Kaufmann, S. Kottler: , Beyond Unit Propagation in SAT Solving, 2011.

[PB03] P. Beame, H. Kautz, A. Sabharwal: , Understanding the Power of Clause Learning, 2003.

[SH11] A Short Overview on Modern Parallel SAT-Solvers, http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=6140776, Stand: 18.06.2017.

[Zh04] Zhang, H.: , The Optimality of Naive Bayes, 2004.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 2575

A system for SMT based constraint programming in Java

Maurice Funk[1]

Abstract: This paper presents a system for constraint programming in Java using translation of JVM bytecode into SMT. This allows the constraints to be written in normal Java, to being interoperable with the rest of the program and lowers the entry barrier to using specialised solvers in applications. Due to the nature of the performed translation, variable assignments for other runtime properties than constraint satisfaction can be found. These include variable assignments that lead to runtime exceptions during normal code execution. We demonstrate that the implemented approach is able to find variable assignments for non-trivial constraints such as a Sudoku puzzle.

Keywords: Constraint Programming; SMT; Java; Program Analysis; Symbolic Execution

1 Introduction

Many problems in computer science can be expressed as a set of constraints over a number of variables. There are many languages and libraries designed to find satisfying variable assignments for constraints. These constraints are often formulated in domain specific languages, some of them are embedded in a commonly used language through a library. In both cases the semantics of the constraint language does not match the semantics of general programming languages. This fact represents an entry barrier to using specialised solvers for constraint satisfaction problems when a computer programmer encounters one while using a general purpose language.

If, however, the semantics (and syntax) of a constraint satisfaction language were to exactly match a general purpose language, this entry barrier would be lower and the solving of a constraint satisfaction problem in a general purpose language would require little additional work. This paper presents a library for the Java programming language that accomplishes exactly that. It accepts Java objects as problem representations, wherein (almost) arbitrary methods with boolean return value can be constraints. This is accomplished by translation of the JVM bytecode that a standard Java compiler produces into an Satisfiability Modulo Theories (SMT) formula [Ba09]. The system then uses an SMT solver such as Z3 [DB08] to find constraint fulfilling values for all variables. Figure 1 shows an example of a constraint as a Java method. It constrains |a|, |b| and |c| to be a Pythagorean triple.

[1] Universität Bremen, mfunk@cs.uni-bremen.de

doi:10.18420/in2017_260

```
@Constraint boolean constraint(int a, int b, int c) {
    return a * a + b * b == c * c
}
```

Fig. 1: Java code for a simple constraint over three variables

2 Related Work

Soeken et al. [SND14] implemented a similar constraint solving library using a different approach. Their system restricts the permitted Java methods to simple checks of objects. These checks are then symbolically applied to annotated collections of Java objects. That forces the problem descriptions to be in a specific shape and requires some conversion work. This limitation inspired the creation of the system described in this paper.

z3py is the Python API of the Z3 SMT solver [DB08]. It is mentioned here since it also aims to have a low entry barrier and allows using an SMT solver from a general purpose programming language. However, while it uses Python syntax, problems have to be formulated with SMT semantics and thus need to be translated from their Python representation by the user.

3 Approach

Java was chosen as an embedding language, since it is a relatively widespread, commonly taught high level language, which is compiled to the analysable JVM bytecode. Analysing the intermediate representation (IR) that is the JVM bytecode is significantly easier than analysing the program in its original syntax.

The approach implemented in the presented system translates the constraint satisfaction problems encoded in the constraint methods as JVM bytecode and the object state into a single SMT formula which, in turn, is solved by an SMT solver producing a variable assignment that satisfies the constraint methods. Figure 2 shows an overview of the process used to translate the problem into an SMT formula. In a first step the methods that represent the constraint (that are annotated with `@Constraint`) and all reachable methods are symbolically executed into an IR. The annotation mechanism to identify relevant methods is used since it has advantages over other mechanism, e.g. providing a Java interface for the user to implement. Annotations allow multiple constraint methods and arbitrary method signatures, instead of the fixed number and fixed signatures of the interface approach. Without any other annotations, only the parameters of the constraint methods are treated as variables of the constraint problem. If the system should treat any fields of the problem object (or of other reachable objects) as variables as well, they have to be annotated with `@Variable`.

In the IR of the constraints each method is a (potentially very complex) partial function from an old state to a new state that corresponds to the semantics of the translated Java method. The function is only partial since the execution of the corresponding constraint

method might not terminate for all inputs, which translates to an infinite recursion chain in the IR. Combined with the initial state of the problem object and other reachable objects, the IR is in multiple steps translated into an SMT formula.

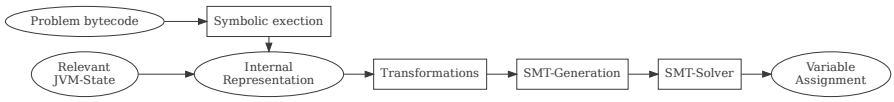


Fig. 2: Overview of the approach implemented in the software

The translation is required in order to accomplish several things. Complex control flow (or recursion) in the constraint methods results in recursive state function definitions which cannot be correctly expressed in SMT, thus the system needs to "unroll" the definitions with an upper depth boundary, similar to bounded model checking techniques (first introduced by Biere et al. [Bi99]). Concepts like objects, arrays and heap accesses need to be lowered to SMT as well, since these constructs are not available in SMT or their semantics do not match their Java counterparts. The transformed IR is in a final step used to generate an equivalent SMT formula, which is satisfied by a variable assignment if and only if the all constraint methods return the value `true` for the assignment. The generated SMT formula corresponding to the small example from Figure 1 is shown in Figure 3.

```
(let ((a!1 (ite (= (+ (* x1 x1) (* x2 x2)) (* x3 x3)) 1 0)))
  (= x0 a!1))
(assert (= x0 1))
```

Fig. 3: SMT formula generated for the simple example constraint in Figure 1

4 Implementation

We implemented the approach described in the last section using the Java interface of the SMT solver Z3. Variable assignments that satisfy the generated SMT formula also satisfy the constraints of the Java formulation of the problem and are returned to the user.

Since other properties of the program state are modeled in the produced SMT formula, the current system is also capable of finding variable assignments that lead to other outcomes than constraint satisfaction. For example the system can be configured to generate variable assignments that lead to nullpointer exceptions. Thus this approach may also be applicable to program testing or testcase generation. These features are, however, currently not well integrated into the system and just point to a possible future direction.

4.1 Translation of a method

As mentioned above, each method in the problem description will be symbolically executed separately[2]. The result for each method is a symbolic partial function from an initial

[2] Note that symbolic execution may be the wrong term for the implemented approach. "symbolic compilation" seems more fitting since the entire program is translated into a single SMT formula

state to a new state. It represents all state modifications the method may perform. This representation is constructed from smaller pieces by splitting the JVM bytecode of the method into basic blocks[3], which in turn are translated into symbolic functions from state to state. The (conditional) jumps from basic block to basic block in a method are constructed using function composition of the functions that represent basic blocks.

The symbolic function f of a basic block that ends in an unconditional jump to a block with symbolic function g can in that manner be constructed like $f(s) = g(f'(s))$, where f' symbolically represents the unconditional state modification of the instructions in the basic block previous to the final jump. It is easy to see that f returns the state after the execution of the basic block corresponding to g. If g is constructed recursively in a similar way, f returns the new state after execution of the method finished. If the block ends in a conditional jump, the functions are composed using a conditional expression as follows:

$$f(s) = \begin{cases} g_1(f'(s)) & f_{condition}(f'(s)) \\ g_2(f'(s)) & \neg f_{condition}(f'(s)) \end{cases}$$

with g_1 and g_2 being the symbolic functions of the two possible jump destinations, $f_{condition}$ being the symbolic condition that the jump destination depends on and f' begin the unconditional state modifications of the instructions of the block up until the conditional jump. Similar to the unconditional case f returns the new state after execution of all successor blocks finishes. It can be noted that these function definitions are recursive if and only if the control flow graph of the original program contains circles, that is if and only if the original program contains loops.

```
if (x > 0) {
    x += 1;
}
```

```
BB0: ifle BB1 else BB2
BB1: iinc x
     jmp BB2
BB2: ...
```

Fig. 4: Simple conditional branch example

Consider the small example in Figure 4 (left) with three basic blocks BB0, BB1, and BB2 (right). The translation results in the following symbolic functions

$$\begin{aligned} \mathrm{BB2}(s) &= \ldots \\ \mathrm{BB1}(s) &= \mathrm{BB2}(s[x \mapsto x + 1]) \\ \mathrm{BB0}(s) &= \begin{cases} \mathrm{BB1}(id(s)) & id(s)(x) > 0 \\ \mathrm{BB2}(id(s)) & id(s)(x) \leq 0 \end{cases} \end{aligned}$$

[3] Basic blocks are sequences of instructions that are always executed in order, i.e. contain no jumps and are not jumped into.

4.2 Limitations

The current implementation supports almost arbitrary Java code in the constraints, including loops, method calls, recursion and modification of the heap as well as static variables. Support for strings and characters is currently quite limited and will be expanded in the future depending on the capabilities of the used SMT solver. Java's exception mechanisms are currently not modeled by the symbolic execution and cannot be used in problem descriptions. Advanced challenges of symbolic execution like native methods, concurrency and IO-operations [Ba16] are currently not handled in the presented system and would require extensions to the current approach and implementation.

5 Evaluation

Since the system attempts to be a constraint solver, it is briefly compared against other easily usable constraint solvers and the system implemented by Soeken et al. [SND14]. We implemented constraints for a 9×9 Sudoku puzzle in the following systems:

- *Choco*, a conventional constraint programming library for Java [PFL16]
- *DIAB*, the system implemented by Soeken et al.
- *z3py*, the python interface of the Z3 SMT solver

Although *DIAB* and the presented system share the idea of using Java code as their input, they do not use the same Sudoku implementation in this evaluation, since *DIAB* does not accept general constraints, but constraints on sets of objects. The version for the presented system directly constrains values of array elements. The implementation for *Choco* and *z3py* both directly produce inequality constraints according to the Sudoku rules in their respective domain language.

All tested systems are able to find a satisfying assignment for 9×9 Sudoku constraints given a constraint formulation in their input language. The average of the required runtimes of 20 runs are listed in Table 1.

System	Average time
Choco	4 ms
presented system	1218 ms
DIAB	39127 ms
z3py	440 ms

Tab. 1: Runtime for finding a satisfying variable assignment for a single 9×9 Sudoku puzzle

It can be noted that the presented system does not reach the speed of specialised constraint programming libraries or directly working with SMT solvers. That can be explained by the additional work of program analysis and translation this approach imposes before the actual constraint solving begins. Compared to *DIAB*, the presented system is able to find a variable

assignment faster. If that is due to differences in implementation speed or due to a different approach is unknown. Additionally this system does not require the Java description to be in a specific shape, while *DIAB* does.

6 Conclusion and Future work

This paper presented a system for constraint programming in Java. The current technical limitations are listed in subsection 4.2. Although the current implementation cannot be applied to complex problems interacting with the environment due to the mentioned limitations, the presented system is able to find satisfying variable assignments for a lot of constraint problems given just a problem description in Java. Due to the program analysis required to make this possible, the system is slower than directly working with the underlying SMT solver and a lot slower than using a specialized library for constraint programming, but a lot faster than an older approach.

Future work includes removing some of the technical limitations and decreasing the performance gap between the presented system and direct usage of a SMT solver interface. Furthermore the current system needs to be evaluated in more aspects than performance, especially if it aims to be a low barrier system for constraint programming. Additionally the applicability to testcase generation and how this approach compares to conventional symbolic execution should be investigated.

References

[Ba09] Barrett, C. W.; Sebastiani, R.; Seshia, S. A.; Tinelli, C.: Satisfiability Modulo Theories. Handbook of satisfiability 185/, pp. 825–885, 2009.

[Ba16] Baldoni, R.; Coppa, E.; D'Elia, D. C.; Demetrescu, C.; Finocchi, I.: A Survey of Symbolic Execution Techniques. CoRR abs/1610.00502/, 2016.

[Bi99] Biere, A.; Cimatti, A.; Clarke, E.; Zhu, Y.: Symbolic model checking without BDDs. Tools and Algorithms for the Construction and Analysis of Systems/, pp. 193–207, 1999.

[DB08] De Moura, L.; Bjørner, N.: Z3: An efficient SMT solver. In: International conference on Tools and Algorithms for the Construction and Analysis of Systems. Springer, pp. 337–340, 2008.

[PFL16] Prud'homme, C.; Fages, J.-G.; Lorca, X.: Choco Documentation, TASC, INRIA Rennes, LINA CNRS UMR 6241, COSLING S.A.S., 2016, URL: http://www.choco-solver.org, visited on: 06/13/2017.

[SND14] Soeken, M.; Nitze, M.; Drechsler, R.: Formale Methoden für Alle. In: ITG/GMM/-GI-Workshop "Methoden und Beschreibungssprachen zur Modellierung und Verifikation von Schaltungen und Systemen - Proceedings. Cuvillier Verlag Göttingen, pp. 213–217, 2014.

Tutorien

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 2583

Tutorial TUT01 „Automatisierte Methoden der Musikverarbeitung“

Meinard Müller[1], Stefan Balke[1], Christof Weiß[1]

Musik ist ein allgegenwärtiger und grundlegender Teil unseres Lebens. Musikalische Werke und deren Aufführungen gehören zu den zentralen kulturellen Errungenschaften. Die emotionale Kraft der Musik kann uns in überraschender und tiefgreifender Weise berühren. Musik spannt eine enorme Bandbreite von Formen und Stilen, von einfachen, unbegleiteten Volksliedern über Pop- und Jazz-Musik bis hin zu symphonischen Werken für Orchester. Trotz der großen Bedeutung von Musik ist die computergestützte Musikverarbeitung nach wie vor ein relativ junges Forschungsgebiet, z. B. im Vergleich zur Sprachverarbeitung, einem Forschungsgebiet mit einer langen Tradition. In den letzten 20 Jahren hat sich ein Forschungsgebiet entwickelt, das nun unter dem Namen *Music Information Retrieval* (MIR) bekannt ist. In diesem Gebiet geht es insbesondere um die Entwicklung von Algorithmen und Verfahren, die es einem Benutzer erlauben, digital vorliegende Musikdaten bezüglich unterschiedlichster musikrelevanter Aspekte zu durchsuchen und zu analysieren. Frühere Ansätze zur computergestützten Musikforschung basierten meist auf symbolisch kodierten Darstellungen. Aufgrund der zunehmenden Verfügbarkeit von digitalisiertem Audiomaterial und einer enormen Steigerung von Rechenleistung steht nun die automatisierte Verarbeitung von wellenformbasierten Audiosignalen zunehmend im Fokus der Forschungsanstrengungen.

Dieses Tutorial widmet sich dem interdisziplinären Forschungsgebiet der computergestützten Musikverarbeitung. Hierbei spielen ganz unterschiedlicher Disziplinen wie die Informatik, Signalverarbeitung, Mustererkennung und die Musikwissenschaften eine wichtige Rolle. Das Hauptziel des Tutorials besteht darin, eine Einführung in dieses lebendige und neue Forschungsgebiet für eine breite Zuhörerschaft zu geben. Hierbei dienen ausgewählte Themen der Musikanalyse und Musiksuche als motivierende Anwendungsszenarien. Im Kontext dieser Szenarien werden grundlegende MIR Methoden und Algorithmen vorgestellt. Unter anderem werden folgende Themen behandelt: Musikdarstellungen und Merkmalsextraktion, Musiksynchronisation, Strukturanalyse, Harmonieanalyse, Tempo- und Beat-Tracking, sowie inhaltsbasierte Suche in Musikaufnahmen. Für weitere Details zu den genannten Themen verweisen wir auf das Lehrbuch [Mü15].

[1] International Audio Laboratories Erlangen, meinard.mueller@audiolabs-erlangen.de

doi:10.18420/in2017_261

Literaturverzeichnis

[Mü15] Müller, Meinard: Fundamentals of Music Processing. Springer Verlag, 2015.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 2585

Interaktive Multimedia-Anwendungen

Britta Meixner[1]

Abstract: Mit modernen Web-Technologien können interaktive und mit zusätzlichen Medien angereicherte Videos umgesetzt werden. Diese können in einer nichtlinearen Weise organisiert werden und erlauben eine Anpassung der Inhalte an den Nutzer. Darüber hinaus können dem Video zusätzliche Informationen wie kurze Beschreibungen, animierte Bilder und weitere Videos hinzugefügt werden. Dies ist vor allem im Bereich der Wissensvermittlung hilfreich und sinnvoll wenn Lernende unterschiedliche Wissensstände aufweisen oder unterschiedliche Medien vorteilhaft eingesetzt werden sollen. Dieses Ganztagstutorial bietet eine Einführung in die Gestaltung von interaktiven Multimedia-Anwendungen. Behandelte Schwerpunkte sind zeitliche und räumliche Modelle sowie Interaktions- und Synchronisierungsmodelle. Weiterhin werden Software-Frameworks und Standards vorgestellt. Ein weiteres Augenmerk liegt auf der Quality of Experience in multimedialen Anwendungen und Präsentationen. Zielgruppe des Tutorials sind Dozenten und Dozentinnen, Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen, Studenten und Studentinnen, sowie Fachpublikum aller Disziplinen die daran interessiert sind, Lerninhalte ansprechend und individuell anpassbar zu vermitteln.

Keywords: Multimedia; Interaktivität; Autorentool; Player; Datenformate; Wissensvermittlung; Informationsvermittlung

1 Hintergrund

Obwohl das Internet mit Standards wie HTML5, CSS und JavaScript mittlerweile alle technischen Möglichkeiten bietet, vielfältige multimediale Inhalte zeit-synchronisiert miteinander zu kombinieren, basieren viele Lehr- und Lernangebote immer noch auf einem Medium. Zum Beispiel werden Instruktionen entweder als Videos oder als Texte (ggf. mit Bildern) präsentiert. Eine Adaption an den Benutzer ist dabei aufgrund der Linearität der Präsentation nicht möglich. Ist zum Beispiel ein Monteur, der eine Hilfestellung zu einem Reparaturvorgang benötigt in einer Gegend mit wenig Empfang unterwegs, muss er mangels alternativer Repräsentationen auf den vollständigen Download eines Instruktionsvideos warten. Da oft nur ein lineares Video das den kompletten Vorgang beschreibt angeboten wird, ist es nicht möglich, die gewünschte Stelle im Video zu finden, dorthin zu springen und ggf. damit die Wartezeit zu verkürzen. Interaktive Multimedia-Anwendungen erlauben eine höhere Granularität in der Navigation durch Inhaltsverzeichnisse und Suchfunktionen und bieten dazu die Möglichkeit, zusätzliche oder alternative Inhalte anzubieten. Dies würde es dem Handwerker im Beispiel ermöglichen, entweder direkt zum relevanten Montageschritt

[1] Centrum Wiskunde & Informatica (CWI), Distributed & Interactive Systems Group, Science Park 123, 1098 XG Amsterdam, The Netherlands meixner.britta@gmail.com

doi:10.18420/in2017_262

zu navigieren, oder eine alternativ angebotene Version mit Text und Bildern (und damit verringertem Download-Volumen und kürzerer Ladezeit) auszuwählen.

2 Inhalte und Ablauf des Tutoriums

Dieses Tutorial beschäftigt sich mit einer zeitlichen und räumlichen Gestaltung von multimedialen (Web-)Präsentationen und interaktiven Multimedia-Anwendungen. Diese interaktiven und nicht-linearen Zusammenstellungen bieten sich für eine Vielzahl an Szenarien wie z.B. e-Learning, multimediale Instruktionen [To12], Hilfesysteme, Sportveranstaltungen, physiotherapeutische Anwendungen [Me14c], interaktive Filme [Ur08] oder Kochvideos an. Das Tutorial eignet sich für Dozenten und Dozentinnen, Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen, Studenten und Studentinnen, sowie Forscher und Forscherinnen aus unterschiedlichen Fachrichtungen die an einer neuen Möglichkeit der anschaulichen und an den Nutzer anpassbaren multimedialen Wissens- und Informationsvermittlung interessiert sind. Im Tutorial werden unterschiedliche Elemente interaktiver Multimedia-Anwendungen vorgestellt und deren Einsatzmöglichkeiten diskutiert. Weiterhin wird ein Überblick über verschiedene Arten von interaktiven Multimedia-Anwendungen gegeben. Nach einer Einführung in die Thematik mit einem historischen Überblick, der Erklärung und Definition von Begriffen [Me14a] und der Vorführung von Anwendungsbeispielen, werden Navigationskonzepte für die Wiedergabe erklärt. Weiterhin werden verschiedene Player [Me13], [MKK11] und deren Funktionalitäten sowie Vor- und Nachteile vorgestellt. Im zweiten Teil des Tutorials werden Zeitmodelle und Paradigmen [BH05] interaktiver Multimedia-Anwendungen demonstriert. Deren Umsetzung in Autorentools [Me10], [Me14b] wird gezeigt. Dabei werden verschiedene Frameworks und Tools vorgestellt und deren Vor- und Nachteile sowie Einsatzmöglichkeiten erläutert. Den Abschluss des Tages bildet ein Überblick über in diesem Bereich verfügbare Datenformate [MK12], [W308]. Nach der Vorstellung der theoretischen Grundlagen werden diese in praktischen Beispielen und Übungen vertieft. Das Hauptziel des Tutorials besteht darin, die Teilnehmer und Teilnehmerinnen mit verschiedenen Formen von interaktiven Multimedia-Anwendungen vertraut zu machen und sie zu befähigen, diese zielgerichtet einzusetzen ohne dabei das Zielpublikum zu überfordern.

Literaturverzeichnis

[BH05] Bulterman, Dick C. A.; Hardman, Lynda: Structured Multimedia Authoring. ACM Trans. Multimedia Comput. Commun. Appl., 1(1):89–109, Februar 2005.

[Me10] Meixner, Britta; Siegel, Beate; Hölbling, Günther; Lehner, Franz; Kosch, Harald: SIVA Suite: Authoring System and Player for Interactive Non-linear Videos. In: Proceedings of the International Conference on Multimedia. MM '10, ACM, New York, NY, USA, S. 1563–1566, 2010.

[Me13] Meixner, Britta; Siegel, Beate; Schultes, Peter; Lehner, Franz; Kosch, Harald: An HTML5 Player for Interactive Non-linear Video with Time-based Collaborative Annotations. In:

Proceedings of International Conference on Advances in Mobile Computing & Multimedia. MoMM '13, ACM, New York, NY, USA, S. 490:490–490:499, 2013.

[Me14a] Meixner, Britta: Annotated Interactive Non-linear Video - Software Suite, Download and Cache Management. Phd thesis, Universität Passau, 2014.

[Me14b] Meixner, Britta; Matusik, Katarzyna; Grill, Christoph; Kosch, Harald: Towards an easy to use authoring tool for interactive non-linear video. Multimedia Tools and Applications, 70(2):1251–1276, May 2014.

[Me14c] Meixner, Britta; Tonndorf, Katrin; John, Stefan; Handschigl, Christian; Hofmann, Kai; Granitzer, Michael: A Multimedia Help System for a Medical Scenario in a Rehabilitation Clinic. In: Proceedings of the 14th International Conference on Knowledge Technologies and Data-driven Business. i-KNOW '14, ACM, New York, NY, USA, S. 25:1–25:8, 2014.

[MK12] Meixner, Britta; Kosch, Harald: Interactive Non-linear Video: Definition and XML Structure. In: Proceedings of the 2012 ACM Symposium on Document Engineering. DocEng '12, ACM, New York, NY, USA, S. 49–58, 2012.

[MKK11] Meixner, Britta; Köstler, Johannes; Kosch, Harald: A Mobile Player for Interactive Non-linear Video. In: Proceedings of the 19th ACM International Conference on Multimedia. MM '11, ACM, New York, NY, USA, S. 779–780, 2011.

[To12] Tonndorf, Katrin; Knieper, Thomas; Meixner, Britta; Kosch, Harald; Lehner, Franz: Challenges in Creating Multimedia Instructions for Support Systems and Dynamic Problem-solving. In: Proceedings of the 12th International Conference on Knowledge Management and Knowledge Technologies. i-KNOW '12, ACM, New York, NY, USA, S. 33:1–33:4, 2012.

[Ur08] Ursu, Marian F.; Kegel, Ian C.; Williams, Doug; Thomas, Maureen; Mayer, Harald; Zsombori, Vilmos; Tuomola, Mika L.; Larsson, Henrik; Wyver, John: ShapeShifting TV: interactive screen media narratives. Multimedia Systems, 14(2):115–132, 2008.

[W308] W3C: , Synchronized Multimedia Integration Language (SMIL 3.0). W3C Recommendation 01 December 2008. Website (accessed October 17, 2015), 2008. http://www.w3.org/TR/SMIL3/.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 2589

TUT03 MDA@Work – Prototyping mit MDA

Siegfried Nolte

Abstract: Die Model Driven Architecture ist ein Konzept der Object Management Group für einen geschlossenen modellgetriebenen Softwareentwicklungsansatz, bei dem in einem iterativen Vorgehen permanent Modellierung und Modelltransformation zur Anwendung kommen. In diesem Beitrag soll auf diese Weise exemplarisch ausgehend von einem einfachen UML Klassendiagramm Schritt für Schritt eine prototypische Anwendung entwickelt werden. Ziel dabei ist, auf manuelle Codierung so weit wie möglich zu verzichten. Zum Einsatz kommen die von der OMG spezifizierten formalen Sprachen und Konzepte UML, QVT, M2T; das Ergebnis ist eine Java-Applikation.

Keywords: Modellgetriebene Softwareentwicklung, Modeldriven Architecture, formale Modellierung, Modeltransformation, Model-nach-Text Transformation, Prototypgenerierung

MDA@Work – Motivation und Vision

Mit den Veröffentlichungen zum Thema MDA [MDA14], erstmalig im Jahre 2001, wurde von der Object Management Group (OMG) ein geschlossenes Konzept zur Anwendungsentwicklung auf der Grundlage von formalen Modellen vorgestellt. Dieser Gedanke hat sich im Laufe der Zeit in vielfältige Richtungen ausgebreitet und ent-wickelt, wobei das Schwergewicht oft auf der modellgetriebenen Softwareentwicklung lag, die mehr die Generierung von Softwarekomponenten aus Modellen zum Inhalt hat. MDA jedoch ist mehr, MDA kann mehr, wie in diesem Tutorium gezeigt werden soll. Im Sprachgebrauch der OMG beschreibt MDA den Begriff der *Model Driven Architecture*, der nach Ansicht des Autors pragmatisch im Sinne der „architektur-zentrierten modellgetriebenen Anwendungsentwicklung“ übersetzt werden kann. Im Rahmen dieses Workshops soll das an einem praktischen Beispiel erläutert und begründet werden.

MDA umfasst einen iterierenden Prozess, bestehend aus Modellierung und Modelltransformation bis hin zur Code-Erzeugung oder, im Sprachgebrauch der OMG, *Model-to-Text Transformation*. Dieser Prozess besteht grundsätzlich aus den Phasen

- Modellierung mit formalen Modellierungssprachen wie zum Beispiel der UML [UML15]
- Modelltransformation zum Beispiel mit QVT *Operational Mappings* [Nol10] oder *Relations Language* [Nol09]
- „Modell nach Text“-Transformation zum Beispiel mit der *Model to Text Transformation Language* [M2T08]

In diesem Beitrag soll das Vorgehen vertieft und an einem durchgängigen Beispiel ein systematischer Weg einer modellgetriebenen Anwendungsentwicklung aufgezeigt werden. Das Projekt MDA@Work hat zum Inhalt, einen in Form eines UML-Klassen-

doi:10.18420/in2017_263

diagramms abgebildeten Ausschnitt der realen Welt, im Weiteren als Domäne bezeichnet, soweit zu transformieren und mit Architekturinformationen zu ergänzen, dass letztendlich eine prototypische lauffähige Anwendung generiert werden kann. Dabei steht die Modellierung im Vordergrund. Der Anteil der Programmierung soll so gering wie möglich sein. Das Ziel ist sogar, im Sinne der Entwicklung eines ersten lauffähigen Prototyps einer Anwendung auf Programmierung gänzlich verzichten zu können.

Das Projekt - Vorgehen

Der Entwicklungsweg im Projekt MDA@Work führt über die klassischen Phasen einer Anwendungsentwicklung, die da sind Analyse der Anforderungen und Beschreibung der Domäne, Grobdesign eines Anwendungssystems unter Berücksichtigung von festgelegten Architekturaspekten, Feindesign des Systems unter Berücksichtigung der Implementierungslandschaft und der betrieblichen Infrastruktur, Generierung einer Java-Anwendung. Im Sinne des MDA-Konzeptes sollen diese Phasen bezeichnet werden als

1. CIM *Computation Independent Modeling*: Analyse der Anforderungen und Abbildung der Domäne „wie sie ist“, also losgelöst von jeglicher Überlegung eines Einsatzes von rechnergestützten Systemen.
2. PIM *Platform Independent Modeling*: Dieser Schritt beschäftigt sich im Wesentlichen mit der Analyse des CIM-Modells; hiermit muss das Verständnis über die Gegebenheiten der Domäne einem später Anwendungsentwickler vermittelt werden können. Zudem wird das CIM-Modell mit ersten Aspekten einer gegebenen Anwendungsarchitektur ergänzt.
3. PSM *Platform Specific Modeling*: Ergänzung und Überarbeitung eines vorliegenden Modells unter plattform- und implementierungsspezifischen Aspekten, zum Beispiel Datentypen, Signaturen der Operationen, Festlegen von Schlüsseln etc.
4. IM *Implementation Modeling*: Abschließende Ergänzung des Modells um Standardoperationen, MTL-Transformation eines Prototyps; dieser soll nahezu unmittelbar und ohne weitere Codierung ausführbar sein.

Unterstützt werden die Phasen durch Zwischenschritte CIM2PIM, PIM2PSM, PSM2IM, in denen Modelltransformation und Code-Generierung vorgenommen wird. Hierzu wird eine geeignete domänenspezifische Sprache [Fow11] mit Hilfe eines UML-Profils bereitgestellt. Das Projekt wird ausschließlich mit Mitteln und Werkzeugen aus dem Open Source Umfeld entwickelt, der Eclipse Modeling Workbench [Ecl17], bestehend aus der Eclipse Java-Entwicklungsumgebung, dem Papyrus UML Modeler, der QVT Operational SDK und Acceleo Common MTL.

Literaturverzeichnis

[Ecl17] Eclipse Modeling Project, Release Neon. http://www.eclipse.org/modeling/, 2017

[Fow11] Fowler, M.: Domain-Specific Language. Addison-Wesley, 2011

[Nol09] Nolte, S.: QVT – Relations Language. Springer-Verlag, 2009

[Nol10] Nolte, S.: QVT – Operational Mappings. Springer-Verlag, 2010

[QVT08] OMG, MOF Query/Views/Transformation (QVT) - Version 1.0. http://www.omg.org/spec/QVT/1.0/, 2008

[M2T08] OMG, MOF Model To Text Transformation Language (M2T) - Version 1.0. http://www.omg.org/spec/QVT/1.0/, 2008

[MDA14] OMG, MDA Guide, Rev. 2.0. http://www.omg.org/cgi-bin/doc?ormsc/14-06-01.pdf, 2014

[UML15] OMG, Unified Modeling Language (UML). http://www.omg.org/spec/UML/2.5/, 2015

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 2593

Domain-Driven Design hands on

Henning Schwentner

In den Zeiten von Microservices wird klar, wie wichtig Domain-Driven Design (DDD) nach wie vor ist. Denn nur mit Strategischem Design (also DDD im Großen) und dem Aufteilen der Domäne in Bounded Contexts kann ein sinnvoller Schnitt für die Microservices gefunden werden.

Aber auch Taktisches Design (also DDD im Kleinen) mit der Ubiquitous Language und den „Building Blocks“ Entities, Value Objects, Aggregates, Services und co. haben nichts an Aktualität verloren.

In diesem Tutorium nehmen wir uns einen Tag Zeit um DDD näher anzuschauen. Das Tutorium besteht aus abwechselnd Vortrag, Diskussion und Übungen.

doi:10.18420/in2017_264

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 2595

Change Management für Informatiker – Theorie und Praxis für erfolgreiche Projekte

Martin R. Wolf[1] und Ute Wiese[2]

Abstract: Kennen Sie diese Situation? Sie haben sich bei der Planung eines Projekts, z.B. bei der Einführung eines neuen IT-Systems, viel Mühe gegeben, und wundern sich, warum es nicht so läuft wie gedacht. Sie haben die technischen Voraussetzungen geschaffen, indem Sie z.B. die IT-Infrastruktur aufgebaut haben. Außerdem haben Sie umfassende Handbücher geschrieben und die Anwender geschult. Dennoch wird das neue IT-System nicht wie geplant genutzt, weshalb auch die erwarteten Verbesserungseffekte ausbleiben.
Tatsächlich wird bei Projekten der Fokus häufig auf die technischen Aspekte gelegt. Allerdings steckt gerade ich den nicht-technischen, „weichen" Faktoren ein enormes, oftmals vernachlässigtes Potenzial zur Verbesserung der Effektivität eines Projekts. Change Management bietet eine Vielzahl von Modellen und Methoden, die dabei helfen, die „weichen" Faktoren eines Projektes besser zu verstehen und zu berücksichtigen.

Keywords: Change Management, Veränderungsmanagement, Management of Change, Veränderung, Projektmanagement

1 Einleitung

Wenn Menschen sich verändern, heißt das immer, dass sie neue Verhaltensweisen lernen. Das Lernen des neuen Verhaltens ist allerdings damit verbunden, dass eingeübte, effiziente und vielleicht auch liebgewonnene Tätigkeitsmuster aufgegeben werden müssen. Da die neuen Verhaltensweisen in der ersten Zeit noch nicht automatisiert sind und eine entsprechend höhere kognitive Last verursachen, führt jede Veränderung zwangsläufig zu einem Performanceverlust. Dieser Effekt wird durch den emotionalen Anteil noch verstärkt, weil nicht davon ausgegangen werden kann, dass neue Verhaltensweisen gerne gelernt werden, was wiederum zu Widerwillen oder sogar Widerstand führen kann. Die Frage ist demnach nicht, ob und wie dieser Performance-verlust vermieden werden kann, sondern lediglich, wie es möglich ist, ihn einzuplanen und auf ein minimales Maß zu reduzieren. Der Faktor Mensch spielt dabei eine besonders große Rolle.

Die Disziplin des Change Managements fokussiert insbesondere auf die „weichen" Faktoren. Sie stellt Theorien und Modelle, aber auch konkrete Methoden und Werkzeuge zur Verfügung, um Organisationen, Kulturen, Kommunikation und individuelles

[1] FH Aachen, Labor für IT Organisation und Management, Eupener Str. 70, 52066 Aachen, m.wolf@fh-aachen.de
[2] Steinbeis Transferzentrum IT Organisation und Management, Sülzburgstr. 48, 50937 Köln, ute.wiese@stw.de

doi:10.18420/in2017_265

Verhalten in organisatorischen Strukturen zu beeinflussen [Fr14]. Ein Veränderungsprozess, der den Ausgangszustand einer Organisation in einen Zielzustand überführt, soll demnach so durchgeführt werden, dass sich das Verhalten der einzelnen Individuen, und damit die Kultur und Kommunikation, und somit die gesamte Organisation in die gewünschte Richtung verändert. Dabei ist es stets das Ziel den bereits erwähnten Performanceverlust, der mit jeder Veränderung einhergeht, so weit wie möglich zu reduzieren.

2 Modelle und Theorien des Change Managements

Aus der Sicht des Change Managements ist eine Organisation das strukturierte Zusammenspiel der einzelnen Komponenten. Dementsprechend müssen für die Veränderung von Organisationen zunächst die atomaren Bestandteile einer Organisation, nämlich die jeweils beteiligten Personen betrachtet werden. Erst wenn klar ist, wie Veränderungen auf den Menschen wirken, können übergeordnete Effekte z.B. im Rahmen von Teams oder ganzen Organisationseinheiten betrachtet werden. Die verschiedenen *Ebenen* eines Changes bauen also, beginnend bei der Ebene des Individuums, bis hin zur Ebene einer gesamten Organisation, aufeinander auf (Abb. 1) [CG15].

Weiterhin spielen beim Change Management verschiedene *Einflussfaktoren* eine Rolle (Abb. 1). So haben die unterschiedlichen Charaktereigenschaften von Menschen ebenso Einfluss auf Veränderungen, wie die möglichen Formen des Widerstands. Außerdem kommt der Art der Führung [Wi17] und der Rolle des Change Agents [HW17] bei Veränderungen eine besondere Bedeutung zu.

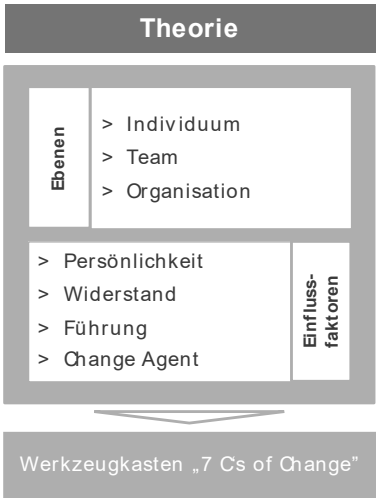


Abb. 1: Modelle und Methoden des Change Managements

3 Methoden und praktische Werkzeuge des Change Managements

Vor dem Hintergrund der Theorien und Modelle des Change Managements, die hinsichtlich der verschiedenen Ebenen und der Einflussfaktoren systematisiert wurden, gibt es eine Vielzahl von wirkungsvolle Methoden, mit denen Veränderungsprozesse positiv beeinflusst werden können. Ein Beispiel dafür sind die „7Cs of Change“ [Na14], die einige konkrete Werkzeuge zur Verfügung stellen (Abb. 2).

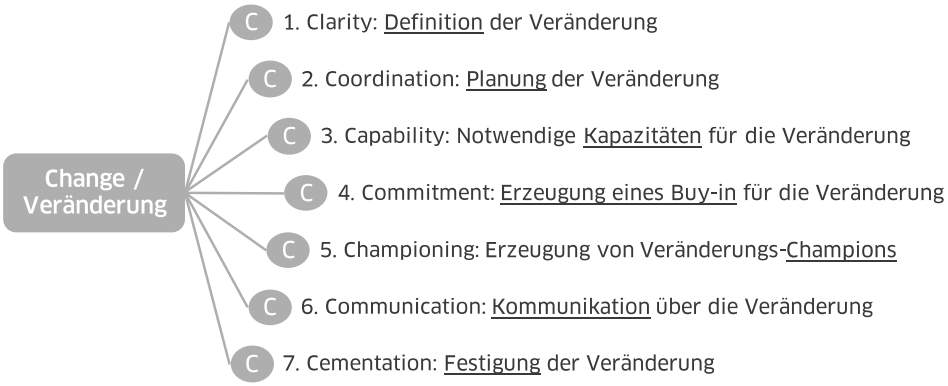


Abb. 2: 7Cs of Change [Na14]

Die meisten Change Management-Methoden, so auch die Werkzeuge aus den „7Cs of Change“, können als Ergänzungen zum Projektmanagement verstanden werden. Sie ersetzen demnach nicht das Projektmanagement, sondern erweitern es um Aspekte, die in Projekten häufig nicht ausreichend berücksichtigt werden.

Literaturverzeichnis

[CG15] Cameron, E.; Green, M.: Making Sense of Change Management. 4th Edition, Kogan Page, 2015.

[Fr14] Fröhlich, C.: Was versteht man unter Change Management. Zeitschrift für Organisationsentwicklung. 04/14, 2014.

[HW17] Hagemann, M.; Wolf, M.R.: Change Management-Training bei DPDHL. Zeitschrift für Organisationsentwicklung. 03/17, S.116-117, 2017.

[Ni14] Nadesalingam, N.: Transformative Change. Management Pocketbooks, 2014.

[Wi17] Wiese, U.: Zwischen Anspruch und Wirklichkeit im deutschen Mittelstand – subjektive Erfahrungen aus der Praxis. In: Püchner, P.; Wittkopp, B. (Hrsg.): Die andere Sicht auf das Innovieren, Steinbeis-Edition, S.164-174, 2017.

Maximilian Eibl, Martin Gaedke. (Hrsg.): INFORMATIK 2017,
Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017 2599

Tutorial (TUT06) and Workshop (WS25) on Creating Advanced Artificial Intelligence in Games (CAAI4GAMES)

Marc Ritter [1], Alexander Marbach, Daniel Stockmann, Manuel Heinzig, Christian Roschke, Holger Langner

Das Tutorium und der Workshop zielen darauf ab, die Teilnehmer in die Grundlagen der Spieleentwicklung einzuführen und die erworbenen Fähigkeiten in einem kleinen Projekt (mit vordefinierten Softwarebausteinen bottom-up) praxisorientiert anzuwenden. Zu den zu vermittelnden Lerninhalten gehören:

Grundlagen Game Design und Spielemechaniken: Es werden die Grundzüge der verschiedenen Phasen von Spieleprojekten im Vergleich zur klassischen Softwareentwicklung betrachtet und das Basiswissen des zielgerichteten Interaktions- und Leveldesigns vermittelt.

Emergenz von Künstlicher Intelligenz bei Multiagentensystemen: Emergenz ist ein "Begriff aus der Systemtheorie [...], der das selbstorganisierte Entstehen von geordneten Strukturen aus Unordnung [...] thematisiert"[2]. So lassen sich beispielsweise Individuen eines Schwarms oftmals komplexe Verhaltensmuster zuschreiben, obgleich sie im Grunde nach einzelnen leicht zu implementierenden Verhaltensregeln agieren.

Parallelverarbeitung/Compute Shader: Bei modernen Grafikkarten handelt es sich um Parallelrechner, in denen mehrere Rechenwerke (Shading Units) die gleiche Operation simultan auf mehrere Datenelemente anwenden. Sie lassen sich heutzutage auch für Rechenoperationen nutzen, die nicht der Bildsynthese dienen, z.B. Physik-Simulationen oder Algorithmen der künstlichen Intelligenz. Einer Vorstellung prinzipieller Funktionsweisen eines modernen Grafikbeschleunigers folgt eine Einführung in die GPGPU-Programmierung.

Aufbauend auf diesen Bereichen wird in Gruppenarbeit ein Spiel mit mehreren Agenten in Unity in einer 2D/3D-Welt erstellt. Dieses dient als Sandbox für unterschiedlich parametrierbares KI-Verhalten, wobei traditionelle Ansätze (Zustandsautomaten oder Hidden-Markov-Modelle) modernen vernetzten Verfahren wie Partikelschwärmen gegenübergestellt werden können. Im wissenschaftlichen Diskurs wird unter Einbezug der einzureichenden Beiträge der Teilnehmer gemeinsam eruiert, inwiefern traditionelle und emergente Methoden zur Steuerung der Spielintelligenz und Non-Player-Characters durch moderne Verfahrensansätze ergänzt werden können.

[1] Hochschule Mittweida, Professur Medieninformatik, Technikumplatz 17, D-09648 Mittweida
[2] vgl. http://www.spektrum.de/lexikon/psychologie/emergenz/4021, 30.06.2017

doi:10.18420/in2017_266

Autorenverzeichnis

A
Abawi, Daniel F., 1599
Abele, Oleg, 1949
Abicht, Konrad, 1915, 1923
Ackermann, Simeon, 1923
Adam, Nico, 1835
Akyol, Ali, 2027
Albers, Laura, 1209
Alkhouri, Georges, 1915
Alpers, Sascha, 1061
Altepost, Andrea, 723
Anke, Jürgen, 793
Argubi-Wollesen, Andreas, 729
Arifi-Müller, Vlora, 75
Arndt, Hans-Knud, 1961
Arndt, Natanael, 1863, 1873, 1915
Arnold, Oliver, 285
Arzt, Andreas, 49
Augenstein, Dominik, 2357
Auth, Gunnar, 1757

B
Bach, Johannes, 1511
Bagueri, Youssef, 713
Bajramovic, Edita, 987
Balke, Stefan, 61, 75, 2583
Barlag, Maria, 2273
Bartsch, Sabine, 1099
Baudis, Tom, 2067
Bauer, Thomas, 799
Baum, Markus, 1689
Baumann, Timo, 2189
Becker, Jörg, 857
Becker, Michael, 2387
Becker, Steffen, 2345
Beckmann, Martin, 1551
Behrens, Grit, 1949
Beinke, Jan Heinrich, 417, 677, 1225
Benedikt Diensberg, 899
Benndorf, Maik, 2211
Berger, Arne, 669, 1237
Berkemeier, Lisa, 1037
Bernhard, Roman, 2537
Betke, Hans, 1283, 1311
Betz, Stefanie, 2323
Bießmann, Paul, 61
Bischof, Andreas, 669, 1237, 2313
Bischoff, Daniel, 1499
Blazy, Stephan, 751
Bleser, Gabriele, 691
Bode, Jakob, 2425
Bogdan, Martin, 543
Bommarito, Daniela, 2499
Bortels, Henrik, 1835
Bostelmann, Timm, 469
Boxhorn, Stefanie, 713
Brehm, Jürgen, 1425
Breiter, Andreas, 1733
Breitinger, Florian, 713
Bremer, Jörg, 1937
Brinkschulte, Melanie, 883
Brinkschulte, Uwe, 873
Brockmann, Carsten, 2041
Brodhun, Maximilian, 1185
Bröhl, Christina, 701
Bruch, Tobias, 1677
Brunnett, Guido, 2201, 2221
Brylka, Robert, 891
Buchmann, Erik, 793

Budde, Jannica, 1745
Buhl, Hendrik, 1937
Bühler, Christian, 345, 361
Bulinski, Michael, 2537
Burger, Erik, 1487
Burghardt, Manuel, 87
Burzlaff, Fabian, 2365
Busch, Rainer, 1537
Busse, Kai-Tobias, 1425

C
Chircu, Alina M., 2043
Christmann, Corinna A., 691
Compagna, Diego, 717
Czapowski, Janek, 2067
Czarnecki, Christian, 2041, 2081
Czedik-Eysenberg, Isabella, 101

D
Daniel Andrés López, 899
Danielsiek, Holger, 241
David, Klaus, 1591
Decker, Bernd, 1369
Degitz, Alexander, 1243
Deimel, Raphael, 717
deMeer, Jan, 957, 1001
Denais, Alann, 515
Desel, Jörg, 235
Deubel, Marco, 829
Deutschmann, Rocco, 1459
Diederichs, Katja, 1185
Diehr, Franziska, 1185
Diepenbrock, Andreas, 1777
Dirks, Susanne, 345
Dittebrandt, Addis, 2413
Dittmar, Christian, 47
Döbelt, Susen, 2329
Dogangün, Aysegül, 697
Dombrowski, Tim, 1937
Dorfer, Matthias, 49
Dorn, Andreas, 2449
Dörner, Ralf, 873, 923
Dresch, Jutta, 585
Drescher, Andreas, 849
Dübener, Saskia Uta, 2461
Duman, Dennis, 2537
Dürr, Frank, 1085
Duscha, Sven, 763
Dziobek, Isabel, 369

E
Eberts, Markus, 907
Eckart, Thomas, 1101
Eckstein, Levona, 773
Efer, Thomas, 1161
Eggendorfer, Tobias, 2245
Eibl, M., 2177
Eifert, Thomas, 1369
Elmar Schömer, 899
Engelmann, Katrin, 2231
Engels, Gregor, 2059
Englisch, Norbert, 1517, 1531, 1575
Enzmann, Matthias, 735
Erbel, Johannes, 2473
Erfurth, Christian, 1281, 1757
Esmaeili Bijarsari, Shirin, 2279
Etzold, Benedikt, 2311

F
Faber, Lukas, 2487
Fabian, E., 2177
Feldmann, Anna, 405
Felleisen, Michael, 451
Fellmann, Michael, 789, 863
Fercher, Anton Josef, 1437
Feuchtinger, Daniel, 763

Fiege, David, 417
Finkbeiner, Matthias, 1995
Fischer, Chiara Chantal, 2461
Fischer, Peter, 737
Fischer, Robert, 961
Förster, Katrin, 1259
Frank, Matthias, 1775
Frede, Christiane, 267
Freisen, Benedikt, 2537
Freybe, Konstantin, 1113
Frieler, Klaus, 111
Fritsch, Andreas, 2323
Fritzsch, Clemens, 543
Froß, Daniel, 503
Fuchs, Kevin, 1703
Funk, Maurice, 2575

G

Gaedke, Martin, 1903
Galke, Lukas, 2155
Gao, Yuan, 961, 1015
Garg, Pawan, 515
Geib, Tobias, 127
Genssler, Paul R., 531
Gerhard, Ulrike, 671
Gerstmann, Sophie, 1283
Gietzen, Thomas, 891
Glaschke, Christian, 2127
Gloy, Yves-Simon, 723
Goedicke, Michael, 279
Goeken, Matthias, 1599
Golubski, Wolfgang, 285
Gómez, Jorge Marx, 2027
Gonscherowski, Susan, 751
Görtz, Michael Dominik, 2537
Götz, Sebastian, 1589
Götze, Jana, 2001
Götzelmann, Timo, 295
Gradl, Tobias, 1125
Granrath, Christian, 1563
Grashöfer, Jan, 1243
Gräßler, Iris, 1339
Grimm, Frank, 285
Grimm, Rüdiger, 1021
Gringer, Ingo, 791
Gröber, Petra, 331
Grollmisch, Sascha, 139
Gronemeyer, Sven, 1185
Große, Peggy, 1209
Grube, Nikolai, 1185
Gruber, Marie, 1601
Grum, Marcus, 2127
Grund, Alexandra, 457
Grzemski, Sarah, 1689
Gudergan, Gerhard, 1073

H

Haarmann, Stephan, 2487
Haase, Jan, 1395, 1447
Haase, Mathias, 2001
Habich, Dirk, 1589
Hacks, Simon, 623
Haenselmann, Thomas, 2211
Hagen, Isabel, 2525
Halama, Josephine, 2329
Halberstadt, Jantje, 2027
Haller, David, 2561
Hamker, Fred H., 2143
Hänchen, Felix, 1517
Hansen, Norman, 1537
Hardt, Wolfram, 1459, 1517, 1531, 1575, 2287
Härting, Ralf-Christian, 1647
Hartman, Andreas, 1757
Hartmann, Andreas, 2121
Hartmann, Ilse, 445

Haupt, Hans Felix, 2461
Hausberg, Piet, 1399
Hebig, Kimberly, 2027
Heinkel, Ulrich, 503
Heinz, Marcel, 2221
Heinzig, Manuel, 1661, 1663, 2201, 2599
Heller, Ariane, 1517
Hellweg, Theresa, 863
Helmert, Stefan, 2201
Hemke, Felix, 1985
Hengstebeck, Ingo, 1689
Henning, Peter A., 1703
Henrich, Andreas, 1099, 1125
Herfert, Michael, 773
Herrmann, Dominik, 1049
Herzog, Paul, 815
Heuer, Andreas, 1137
Heyde, Markus von der, 1687, 1733, 1757
Hiemer, Manuel, 75
Hirt, Robin, 2301
Hitz, Martin, 1437
Hoffmann, Alexandra, 691
Hoffmann, Jörg, 1601
Hoffmann, Jörn, 543
Hoffmann, Martin, 1425
Hoffmann, Tracy, 1113
Hofmann, Andreas, 1617
Hofmann, Marlen, 1617
Hofstedt, Petra, 601, 603, 615
Hogen, Erik Julian, 1937
Hohmann, Georg, 1099
Holderied, Hanna, 2511
Holotiuk, Friedrich, 829
Horst, Christiane, 1073
Höschl, Florian, 451
Houben, Daniel, 723
Hübner, Michael, 481
Hübner, Ursula, 1357
Hubwieser, Peter, 241
Huck-Fries, Veronika, 1413
Hülsdau, Marcus, 1399
Hüsers, Jens, 1357
Hüsken, Lutz, 2007
Hussein, H., 2177
Hussein, Hussein, 2189
Hussong, Kai, 433
Huth, Christopher, 875

I

Igler, Bodo, 947
Isemann, Daniel, 1197

J

Jacker, Anton, 2461
Jacob, Axel, 393, 2255
Jähne, Paul, 2389
Jakob, Sebastian, 1237
Jakobs, Christine, 1475
Jannaber, Sven, 857
Janßen, Benedikt, 481
Jarke, Juliane, 671
Jazayeri, Bahar, 2059
Jelschen, Jan, 2027
Jentsch, Uwe, 2537
Jetschni, Jonas, 1717
John, Ulrich, 601, 653
Jozinovic, Philip, 1647
Jurisch, Matthias, 947

K

Käding, Christopher, 1663
Kahl, S., 2177
Kahl, Stefan, 2141, 2201, 2221, 2231
Kaiser, Markus, 1811
Kammler, Friedemann, 1793, 1883

Kampa, Antonia, 915
Karafillidis, Athanasios, 729
Karla, Jürgen, 1601
Kaspar, Thomas, 1847
Kastner, Marcus, 1865
Kasugai, Kai, 1073
Kaufhold, Marc-André, 1325
Keller, Jörg, 2245
Kern, Eva, 1935, 1973
Khan, Owes, 1517, 1575
Kiehn, Felix, 267
Kiel, Alexander, 1381
King, Christian, 1511
Kirchner, Kathrin, 255
Kirsten, Toralf, 1355, 1381
Klauk, Stephanie, 205
Kleine, Nadine, 1223
Kleiner, Natalja, 1775
Kleinertz, Rainer, 205
Klettke, Meike, 1149
Klinker, Kai, 1413
Klinkhammer, Daniel, 551, 553
Klocke-Wurm, Tanja, 1425
Klöppner, Tobias, 2537
Knap, Rene, 457
Knauf, Denis, 101
Knauf, Torsten, 1167
Kneib, Marcel, 875
Knobelsdorf, Maria, 267
Knodel, Oliver, 467, 531
Köhler, Annette, 451
Köhler, Jessica, 439
Köhler, Steffen, 467
Kollmann, Lars, 457
König, Johannes A., 383, 385
König, Michael, 2413
Koschnmider, Agnes, 789
Kowalewski, Stefan, 1537
Kowerko, D., 2177
Kowerko, Danny, 2141, 2201, 2221, 2231
Koziolek, Anne, 1487
Krcmar, Helmut, 1413
Kreideweiß, Sebastian, 1717
Kreutz, Maximilian, 1937
Kreyßig, Elke, 2001
Kroll, Dennis, 1591
Kröner, Alexander, 295
Kronfeld, Thomas, 2221
Krug, Michael, 1903
Krugel, Johannes, 241
Kruspe, Anna, 151
Kubat, Patrick, 1297
Küchlin, Wolfgang, 1499
Kugler, Alexander, 1537
Kühl, Nikolas, 2301
Kuhlmann, Florian, 1425
Kuhn, Jonas, 1179
Kühn, Roland, 2537
Kühnel, Stephan, 1631, 1641, 2379
Kundisch, Dennis, 2059
Kunz, Thomas, 737
Küppers, Bastian, 307
Kuras, Christoph, 1101
Kuroczyński, Piotr, 1099
Kurze, Albrecht, 669, 1237
Kutun, Bahar, 427

L

Lainer, Andreas, 987
Lambusch, Fabienne, 863
Lamm, Lukas, 87
Langer, André, 1863, 1903
Langner, Holger, 1661, 1663, 2599
Langner, Simon Konstantin, 2461
Lantow, Birger, 815

Laubach, Anne, 1049
Laue, Ralf, 789
Lefeuvre, Kevin, 669, 1237
Lehnhoff, Sebastian, 1937
Leitner, Gerhard, 1395, 1437
Lemke, Claudia, 255
Lepiorz, Reimund, 2017
Li, Jianghai, 961
Lichter, Horst, 623
Lichtwark, Martin, 1137
Lidynia, Sean, 1073
Liebe, Jan-David, 1357
Linde, Stefanie, 323
Lindner, Sebastian, 1283
Link, Jochen, 1001
Liu, Ke, 603, 615
Loebel, Jens-Martin, 577
Löffler, Markus, 1381
Löffler, Sven, 603, 615
Löhrer, Mario, 723
Lorenz, Katharina, 737
Lötzsch, Winfried, 2143
Lou, Xinxin, 973, 1015
Lübbecke, Henning, 321
Lucke, Ulrike, 369, 1687
Ludwig, Thomas, 1325
Lukashevich, Hanna, 139, 151
Luttenberger, Norbert, 1167
Lutze, Rainer, 1809, 1823

M

Maass, Max, 1049
Magenheim, Johannes, 241
Mai, Florian, 2169
Mainberger, Christof, 585
Manthey, Robert, 2221
Manzeschke, Arne, 369
Marbach, Alexander, 1661, 1677, 2599
Marnau, Ninja, 1025
Martin, Michael, 1863, 1891, 1915, 1923
Maschler, Fabian, 2437
Masrur, Alejandro, 1459
Matzat, Lorenz, 1857
Matzutt, Roman, 1073
Mazkatli, Manar, 1487
McGuire, Mary-Rose, 1037
Meier, Pascal, 417, 677, 1225
Meissner, Roy, 1865, 1915
Meister, Vera, 1717
Meixner, Britta, 2585
Merkel, Torsten, 1259
Mertens, Alexander, 701
Meyer, Felix, 1425
Meyer, Holger, 1137
Meyer, Wolfgang, 1687
Meyer-Sickendiek, Burkhard, 2189
Meyer-Wegener, Klaus, 75
Michael, Judith, 2387
Miede, André, 1599
Miezal, Markus, 691
Mindermann, Kai, 1085
Mirbabaie, Milad, 1297
Mitschang, Bernhard, 1085
Mittag, Roland, 1517
Mladenow, Andreas, 2335
Moormann, Jürgen, 829
Moreno, Luis, 1903
Morgner, Anina Ambra, 2461
Moysidou, Krystallia, 1399
Mühleder, Peter, 1113
Müller, Meinard, 47, 61, 75, 163, 205, 2583
Müllmann, Dirk, 1073

Mund, Cindy, 457
Münning, Anne Christin, 417
Muth, Peter, 939

N
Naumann, Stefan, 1935
Neiske, Iris, 1745
Nestmann, Markus, 2401
Neumeister, Felix, 2413
Nickenig, Hans-Peter, 1225
Niemöller, Christina, 1037
Niephaus, Fabio, 2437
Nishioka, Chifumi, 2169
Nolte, Siegfried, 2589

O
Oberweis, Andreas, 433
Oehler, Michael, 219
Oevel, Gudrun, 1745
Ohrndorf, Laura, 241
Ossenschmidt, Daniel, 241
Otten, Bernward, 729
Otten, Stefan, 1511
Özcan, Gökhan, 849

P
Padberg, Miriam, 361
Palanisamy, Saravana Murthy, 1085
Pallas, Frank, 1223
Palm, Daniel, 1937
Parekh, Mithil, 961, 1015
Pflanzl, Nicolas, 433
Pfleiderer, Martin, 111
Pieper, Leonard, 863
Pieper, Maria, 1061
Piller, Gunther, 931
Piontek, Tim, 2095
Pleshkanovska, Roksolana, 2253
Pohl, Johanna, 1995
Politze, Marius, 1369
Popovic, Dragana, 2537
Pottebaum, Jens, 1281, 1339
Povalej, Roman, 2243
Powale, Kalkin, 1563
Prager, Christian, 1185
Protzak, Janna, 713

Q
Qureshi, Hasham Shahid, 713

R
Raabe, Oliver, 1243
Raciti, Vincent, 219
Rademacher, Florian, 1777
Radtke, Norman, 1873
Rambow, Thomas, 1537
Rapp, Barbara, 2007
Rasche, Peter, 701
Rauch, Jens, 1357
Rehouma, Mariem Ben, 2347
Reichel, Sebastian, 717
Reichstein, Christopher, 1647
Reiser, Helmut, 763
Reiter, Nils, 1179
Reiterer, Harald, 551, 553
Reiz, Achim, 2067
Renke, Evgenij, 457
Rennoch, Axel, 957
Reussner, Ralf H., 1487
Reuter, Alexander, 457
Reuter, Christian, 1281, 1325
Reuter, Christoph, 101
Rey, Günter Daniel, 2279, 2287
Richenhagen, Johannes, 1563
Richter, Daniel, 2201
Riechert, Thomas, 1355, 2387
Riehle, Dennis M., 857

Ringsleben, Frederic, 2211
Risch, Julian, 2437
Ritter, Marc, 1661, 1663, 2599
Rohner, Barbara, 255
Roschke, Christian, 1661, 1663, 2599
Rosenzweig, Sebastian, 163
Rößler, Marko, 467, 503
Rößner, Miriam, 2231
Rothe, Ingmar, 2311
Rüb, Fabian, 457
Rubinstein, Tatjana, 773
Rühle, Mathias, 1381

S

Sachweh, Sabine, 1777
Sackmann, Stefan, 1283, 1641
Saggiomo, Marco, 723
Saleh, Ahmed, 2155, 2169
Sand, Laura van de, 697
Sandau, Alexander, 2027
Sassmannshausen, Jochen, 973
Sawitzki, Sergei, 469
Sax, Eric, 1511
Schaefer, Ina, 1523
Schaper, Niclas, 241
Scherbaum, Frank, 163
Scherp, Ansgar, 2155, 2169
Schindler, Timo, 2371
Schlag, Eberhard, 567
Schleier, Sebastian, 1663
Schlender, Klaus, 1949
Schloeter, Jens, 2549
Schloßhauer, J., 2177
Schmidt, Bernhard, 763
Schmidt, Johannes, 2387
Schmidt, Peter, 2001
Schmidt, René, 2273, 2287
Schmidt, Werner, 427
Schmitt, Maximilian, 127, 177
Schmitz-Lenders, Johannes, 843
Schneider, Dominik, 2081
Schoknecht, Andreas, 789
Scholl, Simon, 1325
Scholle, Philipp, 1339
Scholz, Matthias, 931
Schömer, Elmar, 891
Schönthaler, Frank, 433
Schott, Christian, 503
Schreiber, Falk, 597
Schroeder, Ulrik, 233, 307
Schülke, Tobias, 2425
Schuller, Björn, 127, 177
Schwab, Peter, 75
Schwanecke, Ulrich, 891
Schweizer, Cedric, 2449
Schwentner, Henning, 2593
Schwill, Andreas, 233
Seibt, Simon, 961
Seifert, Michael, 1311
Seige, Leander, 1355
Seinsch, Tobias, 701
Sekul, Matthias, 2425
Selzer, Annika, 735, 751
Serth, Sebastian, 2487
Setzer, Thomas, 1775
Seyffarth, Tobias, 1641
Siegemund, Axel, 1267
Smet, Sophie De, 1677
Solsbach, Andreas, 2007
Sonnenschein, Michael, 1937
Sorge, Christoph, 1021
Sözer, Levent D., 2043
Spallek, Rainer G., 467, 493, 531
Spiecker gen. Döhmann, Indra, 1021, 1073
Spiekermann, Daniel, 2245

Spierling, Ulrike, 915
Spychalski, Dominik, 773
Stach, Christoph, 1085
Stark, Sanja, 1937
Starke, Thomas Fabian, 469
Stefan Kugele et al., 1463
Steffen Köhler, 493
Steffen, Daniel, 691
Steinmann, Sabrina, 1037
Stephan, Robert, 1149
Stieglitz, Stefan, 1297
Stockmann, Daniel, 1661, 2599
Storz, Michael, 669, 1237
Strauss, Christine, 2335
Striewe, Michael, 279
Strüver, Niklas, 723
Strzodka, Michael, 1823
Stubbe, Peer Vincent, 1937
Studer, Rudi, 1775
Suchacek, Pierre, 451
Sultanow, Eldar, 2041, 2043
Sure-Vetter, York, 1775
Szopinski, Daniel, 2059

T
Taetz, Bertram, 691
Tariq, Muhammad Adnan, 1085
Tellabi, Asmaa, 973
Teuteberg, Frank, 393, 405, 417, 637, 677, 1225, 1357, 1399, 2255
Thangaraju, E., 2177
Theis, Sabine, 701
Thomanek, Rico, 1663
Thomas, Oliver, 857, 1037, 1793, 1883
Thoss, Marcus, 873
Tietjen, Jil, 2567
Totzauer, Sören, 669, 1237
Tramp, Sebastian, 1863
Tran, Tuan Anh, 1197
Trick, Daniel, 773
Tröger, Peter, 1475
Trump, Sebastian, 61
Truschzinski, Martina, 2273, 2295
Turban, Bernhard M., 843

U
Ulbricht, Max-R., 1223
Ulfig, Matthias, 457
Ulges, Adrian, 873, 907
Ulrich Schwanecke, 899
Unbehauen, Jörg, 1891

V
Vahrenhold, Jan, 241
Varwig, Andreas, 1793, 1883
Venkitachalam, Hariharan, 1563
Vetter, Arthur, 433
Vitay, Julien, 2143
Vogelsang, Andreas, 1551
Voigt, Kristina, 1935
Volk, Maximilian Hugo, 2461
Volkamer, Melanie, 735
Vossen, Gottfried, 433
Vuletić, Radovan, 515

W
Waedt, Karl, 957
Wagner, Elisabeth, 1185
Wagner, Jonas, 1381
Wagner, Manuela, 1061
Wagner, Sarah, 1209
Wagner, Stefan, 1085
Waldhör, Klemens, 445
Waldmann, Ulrich, 735, 737
Waller, Anne, 863
Waloschek, Simon, 191

Warsch, Stephanie Alexandra, 1937
Watson, Venesa, 973
Weber, Karsten, 1223
Wehling, Kenny, 1523
Wehrle, Klaus, 1073
Weidemann, Alexandra, 717
Weidner, Robert, 729
Weiß, Christof, 205, 2583
Weiß, Jan-Patrick, 1357
Werner, Matthias, 2345
Wiczorek, Rebecca, 713
Wiechowski, Norbert, 1537
Wiegand, Florian, 1413
Wieninger, Simon, 1073
Wiesche, Manuel, 1413
Wiese, Ute, 2595
Willand, Marcus, 1179
Wille, Matthias, 701
Willenbacher, Martina, 2017
Wingender, Tim, 481
Winter, Andreas, 2027
Wirzberger, Maria, 2273, 2279, 2287
Wisselink, Frank, 2081
Wißotzki, Matthias, 2067, 2107
Wittland, Michael, 219
Wohlgemuth, Volker, 1985, 2017
Wolf, Armin, 601
Wolf, Martin R., 383, 385, 457, 2595

X
Xu, Lili, 2537

Y
Yadav, Bharat, 2211

Z
Zafari, Fartash, 637
Zalkow, Frank, 205
Zander, Stefan, 1775
Zapf, Dominik, 151
Zedlitz, Jesper, 1167
Zehendner, Eberhard, 323
Zeissig, Eva-Maria, 1073
Zeljković, Sandra, 515
Zender, Raphael, 1395, 1687
Zid, Ines Ben, 1015
Ziefle, Martina, 1073
Ziegeldorf, Jan Henrik, 1073
Ziesen, Nenja, 723
Zietek, Oliver, 2537
Zitterbart, Martina, 1223
Zobel, Benedikt, 857
Zwack, Justin, 1677

GI-Edition Lecture Notes in Informatics

P-1 Gregor Engels, Andreas Oberweis, Albert Zündorf (Hrsg.): Modellierung 2001.

P-2 Mikhail Godlevsky, Heinrich C. Mayr (Hrsg.): Information Systems Technology and its Applications, ISTA'2001.

P-3 Ana M. Moreno, Reind P. van de Riet (Hrsg.): Applications of Natural Lan-guage to Information Systems, NLDB'2001.

P-4 H. Wörn, J. Mühling, C. Vahl, H.-P. Meinzer (Hrsg.): Rechner- und sensorgestützte Chirurgie; Workshop des SFB 414.

P-5 Andy Schürr (Hg.): OMER – Object-Oriented Modeling of Embedded Real-Time Systems.

P-6 Hans-Jürgen Appelrath, Rolf Beyer, Uwe Marquardt, Heinrich C. Mayr, Claudia Steinberger (Hrsg.): Unternehmen Hochschule, UH'2001.

P-7 Andy Evans, Robert France, Ana Moreira, Bernhard Rumpe (Hrsg.): Practical UML-Based Rigorous Development Methods – Countering or Integrating the extremists, pUML'2001.

P-8 Reinhard Keil-Slawik, Johannes Magenheim (Hrsg.): Informatikunterricht und Medienbildung, INFOS'2001.

P-9 Jan von Knop, Wilhelm Haverkamp (Hrsg.): Innovative Anwendungen in Kommunikationsnetzen, 15. DFN Arbeitstagung.

P-10 Mirjam Minor, Steffen Staab (Hrsg.): 1st German Workshop on Experience Management: Sharing Experiences about the Sharing Experience.

P-11 Michael Weber, Frank Kargl (Hrsg.): Mobile Ad-Hoc Netzwerke, WMAN 2002.

P-12 Martin Glinz, Günther Müller-Luschnat (Hrsg.): Modellierung 2002.

P-13 Jan von Knop, Peter Schirmbacher and Viljan Mahni_ (Hrsg.): The Changing Universities – The Role of Technology.

P-14 Robert Tolksdorf, Rainer Eckstein (Hrsg.): XML-Technologien für das Semantic Web – XSW 2002.

P-15 Hans-Bernd Bludau, Andreas Koop (Hrsg.): Mobile Computing in Medicine.

P-16 J. Felix Hampe, Gerhard Schwabe (Hrsg.): Mobile and Collaborative Business 2002.

P-17 Jan von Knop, Wilhelm Haverkamp (Hrsg.): Zukunft der Netze –Die Verletzbarkeit meistern, 16. DFN Arbeitstagung.

P-18 Elmar J. Sinz, Markus Plaha (Hrsg.): Modellierung betrieblicher Informationssysteme – MobIS 2002.

P-19 Sigrid Schubert, Bernd Reusch, Norbert Jesse (Hrsg.): Informatik bewegt – Informatik 2002 – 32. Jahrestagung der Gesellschaft für Informatik e.V. (GI) 30.Sept.-3. Okt. 2002 in Dortmund.

P-20 Sigrid Schubert, Bernd Reusch, Norbert Jesse (Hrsg.): Informatik bewegt – Informatik 2002 – 32. Jahrestagung der Gesellschaft für Informatik e.V. (GI) 30.Sept.-3. Okt. 2002 in Dortmund (Ergänzungsband).

P-21 Jörg Desel, Mathias Weske (Hrsg.): Promise 2002: Prozessorientierte Methoden und Werkzeuge für die Entwicklung von Informationssystemen.

P-22 Sigrid Schubert, Johannes Magenheim, Peter Hubwieser, Torsten Brinda (Hrsg.): Forschungsbeiträge zur "Didaktik der Informatik" – Theorie, Praxis, Evaluation.

P-23 Thorsten Spitta, Jens Borchers, Harry M. Sneed (Hrsg.): Software Management 2002 – Fortschritt durch Beständigkeit

P-24 Rainer Eckstein, Robert Tolksdorf (Hrsg.): XMIDX 2003 – XML-Technologien für Middleware – Middleware für XML-Anwendungen

P-25 Key Pousttchi, Klaus Turowski (Hrsg.): Mobile Commerce – Anwendungen und Perspektiven – 3. Workshop Mobile Commerce, Universität Augsburg, 04.02.2003

P-26 Gerhard Weikum, Harald Schöning, Erhard Rahm (Hrsg.): BTW 2003: Datenbanksysteme für Business, Technologie und Web

P-27 Michael Kroll, Hans-Gerd Lipinski, Kay Melzer (Hrsg.): Mobiles Computing in der Medizin

P-28 Ulrich Reimer, Andreas Abecker, Steffen Staab, Gerd Stumme (Hrsg.): WM 2003: Professionelles Wissensmanagement – Er-fahrungen und Visionen

P-29 Antje Düsterhöft, Bernhard Thalheim (Eds.): NLDB'2003: Natural Language Processing and Information Systems

P-30 Mikhail Godlevsky, Stephen Liddle, Heinrich C. Mayr (Eds.): Information Systems Technology and its Applications

P-31 Arslan Brömme, Christoph Busch (Eds.): BIOSIG 2003: Biometrics and Electronic Signatures

P-32 Peter Hubwieser (Hrsg.): Informatische Fachkonzepte im Unterricht – INFOS 2003

P-33 Andreas Geyer-Schulz, Alfred Taudes (Hrsg.): Informationswirtschaft: Ein Sektor mit Zukunft

P-34 Klaus Dittrich, Wolfgang König, Andreas Oberweis, Kai Rannenberg, Wolfgang Wahlster (Hrsg.): Informatik 2003 – Innovative Informatikanwendungen (Band 1)

P-35 Klaus Dittrich, Wolfgang König, Andreas Oberweis, Kai Rannenberg, Wolfgang Wahlster (Hrsg.): Informatik 2003 – Innovative Informatikanwendungen (Band 2)

P-36 Rüdiger Grimm, Hubert B. Keller, Kai Rannenberg (Hrsg.): Informatik 2003 – Mit Sicherheit Informatik

P-37 Arndt Bode, Jörg Desel, Sabine Rathmayer, Martin Wessner (Hrsg.): DeLFI 2003: e-Learning Fachtagung Informatik

P-38 E.J. Sinz, M. Plaha, P. Neckel (Hrsg.): Modellierung betrieblicher Informationssysteme – MobIS 2003

P-39 Jens Nedon, Sandra Frings, Oliver Göbel (Hrsg.): IT-Incident Management & IT-Forensics – IMF 2003

P-40 Michael Rebstock (Hrsg.): Modellierung betrieblicher Informationssysteme – MobIS 2004

P-41 Uwe Brinkschulte, Jürgen Becker, Dietmar Fey, Karl-Erwin Großpietsch, Christian Hochberger, Erik Maehle, Thomas Runkler (Edts.): ARCS 2004 – Organic and Pervasive Computing

P-42 Key Pousttchi, Klaus Turowski (Hrsg.): Mobile Economy – Transaktionen und Prozesse, Anwendungen und Dienste

P-43 Birgitta König-Ries, Michael Klein, Philipp Obreiter (Hrsg.): Persistance, Scalability, Transactions – Database Mechanisms for Mobile Applications

P-44 Jan von Knop, Wilhelm Haverkamp, Eike Jessen (Hrsg.): Security, E-Learning. E-Services

P-45 Bernhard Rumpe, Wofgang Hesse (Hrsg.): Modellierung 2004

P-46 Ulrich Flegel, Michael Meier (Hrsg.): Detection of Intrusions of Malware & Vulnerability Assessment

P-47 Alexander Prosser, Robert Krimmer (Hrsg.): Electronic Voting in Europe – Technology, Law, Politics and Society

P-48 Anatoly Doroshenko, Terry Halpin, Stephen W. Liddle, Heinrich C. Mayr (Hrsg.): Information Systems Technology and its Applications

P-49 G. Schiefer, P. Wagner, M. Morgenstern, U. Rickert (Hrsg.): Integration und Datensicherheit – Anforderungen, Konflikte und Perspektiven

P-50 Peter Dadam, Manfred Reichert (Hrsg.): INFORMATIK 2004 – Informatik verbindet (Band 1) Beiträge der 34. Jahrestagung der Gesellschaft für Informatik e.V. (GI), 20.-24. September 2004 in Ulm

P-51 Peter Dadam, Manfred Reichert (Hrsg.): INFORMATIK 2004 – Informatik verbindet (Band 2) Beiträge der 34. Jahrestagung der Gesellschaft für Informatik e.V. (GI), 20.-24. September 2004 in Ulm

P-52 Gregor Engels, Silke Seehusen (Hrsg.): DELFI 2004 – Tagungsband der 2. e-Learning Fachtagung Informatik

P-53 Robert Giegerich, Jens Stoye (Hrsg.): German Conference on Bioinformatics – GCB 2004

P-54 Jens Borchers, Ralf Kneuper (Hrsg.): Softwaremanagement 2004 – Outsourcing und Integration

P-55 Jan von Knop, Wilhelm Haverkamp, Eike Jessen (Hrsg.): E-Science und Grid Adhoc-Netze Medienintegration

P-56 Fernand Feltz, Andreas Oberweis, Benoit Otjacques (Hrsg.): EMISA 2004 – Informationssysteme im E-Business und E-Government

P-57 Klaus Turowski (Hrsg.): Architekturen, Komponenten, Anwendungen

P-58 Sami Beydeda, Volker Gruhn, Johannes Mayer, Ralf Reussner, Franz Schweiggert (Hrsg.): Testing of Component-Based Systems and Software Quality

P-59 J. Felix Hampe, Franz Lehner, Key Pousttchi, Kai Ranneberg, Klaus Turowski (Hrsg.): Mobile Business – Processes, Platforms, Payments

P-60 Steffen Friedrich (Hrsg.): Unterrichtskonzepte für inforrmatische Bildung

P-61 Paul Müller, Reinhard Gotzhein, Jens B. Schmitt (Hrsg.): Kommunikation in verteilten Systemen

P-62 Federrath, Hannes (Hrsg.): „Sicherheit 2005“ – Sicherheit – Schutz und Zuverlässigkeit

P-63 Roland Kaschek, Heinrich C. Mayr, Stephen Liddle (Hrsg.): Information Systems – Technology and ist Applications

P-64 Peter Liggesmeyer, Klaus Pohl, Michael Goedicke (Hrsg.): Software Engineering 2005

P-65 Gottfried Vossen, Frank Leymann, Peter Lockemann, Wolffried Stucky (Hrsg.): Datenbanksysteme in Business, Technologie und Web

P-66 Jörg M. Haake, Ulrike Lucke, Djamshid Tavangarian (Hrsg.): DeLFI 2005: 3. deutsche e-Learning Fachtagung Informatik

P-67 Armin B. Cremers, Rainer Manthey, Peter Martini, Volker Steinhage (Hrsg.): INFORMATIK 2005 – Informatik LIVE (Band 1)

P-68 Armin B. Cremers, Rainer Manthey, Peter Martini, Volker Steinhage (Hrsg.): INFORMATIK 2005 – Informatik LIVE (Band 2)

P-69 Robert Hirschfeld, Ryszard Kowalcyk, Andreas Polze, Matthias Weske (Hrsg.): NODe 2005, GSEM 2005

P-70 Klaus Turowski, Johannes-Maria Zaha (Hrsg.): Component-oriented Enterprise Application (COAE 2005)

P-71 Andrew Torda, Stefan Kurz, Matthias Rarey (Hrsg.): German Conference on Bioinformatics 2005

P-72 Klaus P. Jantke, Klaus-Peter Fähnrich, Wolfgang S. Wittig (Hrsg.): Marktplatz Internet: Von e-Learning bis e-Payment

P-73 Jan von Knop, Wilhelm Haverkamp, Eike Jessen (Hrsg.): "Heute schon das Morgen sehen"

P-74 Christopher Wolf, Stefan Lucks, Po-Wah Yau (Hrsg.): WEWoRC 2005 – Western European Workshop on Research in Cryptology

P-75 Jörg Desel, Ulrich Frank (Hrsg.): Enterprise Modelling and Information Systems Architecture

P-76 Thomas Kirste, Birgitta König-Riess, Key Pousttchi, Klaus Turowski (Hrsg.): Mobile Informationssysteme – Potentiale, Hindernisse, Einsatz

P-77 Jana Dittmann (Hrsg.): SICHERHEIT 2006

P-78 K.-O. Wenkel, P. Wagner, M. Morgenstern, K. Luzi, P. Eisermann (Hrsg.): Land- und Ernährungswirtschaft im Wandel

P-79 Bettina Biel, Matthias Book, Volker Gruhn (Hrsg.): Softwareengineering 2006

P-80 Mareike Schoop, Christian Huemer, Michael Rebstock, Martin Bichler (Hrsg.): Service-Oriented Electronic Commerce

P-81 Wolfgang Karl, Jürgen Becker, Karl-Erwin Großpietsch, Christian Hochberger, Erik Maehle (Hrsg.): ARCS´06

P-82 Heinrich C. Mayr, Ruth Breu (Hrsg.): Modellierung 2006

P-83 Daniel Huson, Oliver Kohlbacher, Andrei Lupas, Kay Nieselt and Andreas Zell (eds.): German Conference on Bioinformatics

P-84 Dimitris Karagiannis, Heinrich C. Mayr, (Hrsg.): Information Systems Technology and its Applications

P-85 Witold Abramowicz, Heinrich C. Mayr, (Hrsg.): Business Information Systems

P-86 Robert Krimmer (Ed.): Electronic Voting 2006

P-87 Max Mühlhäuser, Guido Rößling, Ralf Steinmetz (Hrsg.): DELFI 2006: 4. e-Learning Fachtagung Informatik

P-88 Robert Hirschfeld, Andreas Polze, Ryszard Kowalczyk (Hrsg.): NODe 2006, GSEM 2006

P-90 Joachim Schelp, Robert Winter, Ulrich Frank, Bodo Rieger, Klaus Turowski (Hrsg.): Integration, Informationslogistik und Architektur

P-91 Henrik Stormer, Andreas Meier, Michael Schumacher (Eds.): European Conference on eHealth 2006

P-92 Fernand Feltz, Benoît Otjacques, Andreas Oberweis, Nicolas Poussing (Eds.): AIM 2006

P-93 Christian Hochberger, Rüdiger Liskowsky (Eds.): INFORMATIK 2006 – Informatik für Menschen, Band 1

P-94 Christian Hochberger, Rüdiger Liskowsky (Eds.): INFORMATIK 2006 – Informatik für Menschen, Band 2

P-95 Matthias Weske, Markus Nüttgens (Eds.): EMISA 2005: Methoden, Konzepte und Technologien für die Entwicklung von dienstbasierten Informationssystemen

P-96 Saartje Brockmans, Jürgen Jung, York Sure (Eds.): Meta-Modelling and Ontologies

P-97 Oliver Göbel, Dirk Schadt, Sandra Frings, Hardo Hase, Detlef Günther, Jens Nedon (Eds.): IT-Incident Mangament & IT-Forensics – IMF 2006

P-98 Hans Brandt-Pook, Werner Simonsmeier und Thorsten Spitta (Hrsg.): Beratung in der Softwareentwicklung – Modelle, Methoden, Best Practices

P-99 Andreas Schwill, Carsten Schulte, Marco Thomas (Hrsg.): Didaktik der Informatik

P-100 Peter Forbrig, Günter Siegel, Markus Schneider (Hrsg.): HDI 2006: Hochschuldidaktik der Informatik

P-101 Stefan Böttinger, Ludwig Theuvsen, Susanne Rank, Marlies Morgenstern (Hrsg.): Agrarinformatik im Spannungsfeld zwischen Regionalisierung und globalen Wertschöpfungsketten

P-102 Otto Spaniol (Eds.): Mobile Services and Personalized Environments

P-103 Alfons Kemper, Harald Schöning, Thomas Rose, Matthias Jarke, Thomas Seidl, Christoph Quix, Christoph Brochhaus (Hrsg.): Datenbanksysteme in Business, Technologie und Web (BTW 2007)

P-104 Birgitta König-Ries, Franz Lehner, Rainer Malaka, Can Türker (Hrsg.) MMS 2007: Mobilität und mobile Informationssysteme

P-105 Wolf-Gideon Bleek, Jörg Raasch, Heinz Züllighoven (Hrsg.) Software Engineering 2007

P-106 Wolf-Gideon Bleek, Henning Schwentner, Heinz Züllighoven (Hrsg.) Software Engineering 2007 – Beiträge zu den Workshops

P-107 Heinrich C. Mayr, Dimitris Karagiannis (eds.) Information Systems Technology and its Applications

P-108 Arslan Brömme, Christoph Busch, Detlef Hühnlein (eds.) BIOSIG 2007: Biometrics and Electronic Signatures

P-109 Rainer Koschke, Otthein Herzog, Karl-Heinz Rödiger, Marc Ronthaler (Hrsg.) INFORMATIK 2007 Informatik trifft Logistik Band 1

P-110 Rainer Koschke, Otthein Herzog, Karl-Heinz Rödiger, Marc Ronthaler (Hrsg.) INFORMATIK 2007 Informatik trifft Logistik Band 2

P-111 Christian Eibl, Johannes Magenheim, Sigrid Schubert, Martin Wessner (Hrsg.) DeLFI 2007: 5. e-Learning Fachtagung Informatik

P-112 Sigrid Schubert (Hrsg.) Didaktik der Informatik in Theorie und Praxis

P-113 Sören Auer, Christian Bizer, Claudia Müller, Anna V. Zhdanova (Eds.) The Social Semantic Web 2007 Proceedings of the 1st Conference on Social Semantic Web (CSSW)

P-114 Sandra Frings, Oliver Göbel, Detlef Günther, Hardo G. Hase, Jens Nedon, Dirk Schadt, Arslan Brömme (Eds.) IMF2007 IT-incident management & IT-forensics Proceedings of the 3rd International Conference on IT-Incident Management & IT-Forensics

P-115 Claudia Falter, Alexander Schliep, Joachim Selbig, Martin Vingron and Dirk Walther (Eds.) German conference on bioinformatics GCB 2007

P-116 Witold Abramowicz, Leszek Maciszek (Eds.) Business Process and Services Computing 1st International Working Conference on Business Process and Services Computing BPSC 2007

P-117 Ryszard Kowalczyk (Ed.) Grid service engineering and manegement The 4th International Conference on Grid Service Engineering and Management GSEM 2007

P-118 Andreas Hein, Wilfried Thoben, Hans-Jürgen Appelrath, Peter Jensch (Eds.) European Conference on ehealth 2007

P-119 Manfred Reichert, Stefan Strecker, Klaus Turowski (Eds.) Enterprise Modelling and Information Systems Architectures Concepts and Applications

P-120 Adam Pawlak, Kurt Sandkuhl, Wojciech Cholewa, Leandro Soares Indrusiak (Eds.) Coordination of Collaborative Engineering - State of the Art and Future Challenges

P-121 Korbinian Herrmann, Bernd Bruegge (Hrsg.) Software Engineering 2008 Fachtagung des GI-Fachbereichs Softwaretechnik

P-122 Walid Maalej, Bernd Bruegge (Hrsg.) Software Engineering 2008 - Workshopband Fachtagung des GI-Fachbereichs Softwaretechnik

P-123 Michael H. Breitner, Martin Breunig, Elgar Fleisch, Ley Pousttchi, Klaus Turowski (Hrsg.)
Mobile und Ubiquitäre Informationssysteme – Technologien, Prozesse, Marktfähigkeit
Proceedings zur 3. Konferenz Mobile und Ubiquitäre Informationssysteme (MMS 2008)

P-124 Wolfgang E. Nagel, Rolf Hoffmann, Andreas Koch (Eds.)
9th Workshop on Parallel Systems and Algorithms (PASA)
Workshop of the GI/ITG Speciel Interest Groups PARS and PARVA

P-125 Rolf A.E. Müller, Hans-H. Sundermeier, Ludwig Theuvsen, Stephanie Schütze, Marlies Morgenstern (Hrsg.)
Unternehmens-IT: Führungsinstrument oder Verwaltungsbürde
Referate der 28. GIL Jahrestagung

P-126 Rainer Gimnich, Uwe Kaiser, Jochen Quante, Andreas Winter (Hrsg.)
10th Workshop Software Reengineering (WSR 2008)

P-127 Thomas Kühne, Wolfgang Reisig, Friedrich Steimann (Hrsg.)
Modellierung 2008

P-128 Ammar Alkassar, Jörg Siekmann (Hrsg.)
Sicherheit 2008
Sicherheit, Schutz und Zuverlässigkeit
Beiträge der 4. Jahrestagung des Fachbereichs Sicherheit der Gesellschaft für Informatik e.V. (GI)
2.-4. April 2008
Saarbrücken, Germany

P-129 Wolfgang Hesse, Andreas Oberweis (Eds.)
Sigsand-Europe 2008
Proceedings of the Third AIS SIGSAND European Symposium on Analysis, Design, Use and Societal Impact of Information Systems

P-130 Paul Müller, Bernhard Neumair, Gabi Dreo Rodosek (Hrsg.)
1. DFN-Forum Kommunikations-technologien Beiträge der Fachtagung

P-131 Robert Krimmer, Rüdiger Grimm (Eds.)
3rd International Conference on Electronic Voting 2008
Co-organized by Council of Europe, Gesellschaft für Informatik and E-Voting. CC

P-132 Silke Seehusen, Ulrike Lucke, Stefan Fischer (Hrsg.)
DeLFI 2008:
Die 6. e-Learning Fachtagung Informatik

P-133 Heinz-Gerd Hegering, Axel Lehmann, Hans Jürgen Ohlbach, Christian Scheideler (Hrsg.)
INFORMATIK 2008
Beherrschbare Systeme – dank Informatik
Band 1

P-134 Heinz-Gerd Hegering, Axel Lehmann, Hans Jürgen Ohlbach, Christian Scheideler (Hrsg.)
INFORMATIK 2008
Beherrschbare Systeme – dank Informatik
Band 2

P-135 Torsten Brinda, Michael Fothe, Peter Hubwieser, Kirsten Schlüter (Hrsg.)
Didaktik der Informatik – Aktuelle Forschungsergebnisse

P-136 Andreas Beyer, Michael Schroeder (Eds.)
German Conference on Bioinformatics GCB 2008

P-137 Arslan Brömme, Christoph Busch, Detlef Hühnlein (Eds.)
BIOSIG 2008: Biometrics and Electronic Signatures

P-138 Barbara Dinter, Robert Winter, Peter Chamoni, Norbert Gronau, Klaus Turowski (Hrsg.)
Synergien durch Integration und Informationslogistik
Proceedings zur DW2008

P-139 Georg Herzwurm, Martin Mikusz (Hrsg.)
Industrialisierung des Software-Managements
Fachtagung des GI-Fachausschusses Management der Anwendungsentwick-lung und -wartung im Fachbereich Wirtschaftsinformatik

P-140 Oliver Göbel, Sandra Frings, Detlef Günther, Jens Nedon, Dirk Schadt (Eds.)
IMF 2008 - IT Incident Management & IT Forensics

P-141 Peter Loos, Markus Nüttgens, Klaus Turowski, Dirk Werth (Hrsg.)
Modellierung betrieblicher Informations-systeme (MobIS 2008)
Modellierung zwischen SOA und Compliance Management

P-142 R. Bill, P. Korduan, L. Theuvsen, M. Morgenstern (Hrsg.)
Anforderungen an die Agrarinformatik durch Globalisierung und Klimaveränderung

P-143 Peter Liggesmeyer, Gregor Engels, Jürgen Münch, Jörg Dörr, Norman Riegel (Hrsg.)
Software Engineering 2009
Fachtagung des GI-Fachbereichs Softwaretechnik

P-144 Johann-Christoph Freytag, Thomas Ruf, Wolfgang Lehner, Gottfried Vossen (Hrsg.)
Datenbanksysteme in Business, Technologie und Web (BTW)

P-145 Knut Hinkelmann, Holger Wache (Eds.)
WM2009: 5th Conference on Professional Knowledge Management

P-146 Markus Bick, Martin Breunig, Hagen Höpfner (Hrsg.)
Mobile und Ubiquitäre Informationssysteme – Entwicklung, Implementierung und Anwendung
4. Konferenz Mobile und Ubiquitäre Informationssysteme (MMS 2009)

P-147 Witold Abramowicz, Leszek Maciaszek, Ryszard Kowalczyk, Andreas Speck (Eds.)
Business Process, Services Computing and Intelligent Service Management
BPSC 2009 · ISM 2009 · YRW-MBP 2009

P-148 Christian Erfurth, Gerald Eichler, Volkmar Schau (Eds.)
9th International Conference on Innovative Internet Community Systems
I²CS 2009

P-149 Paul Müller, Bernhard Neumair, Gabi Dreo Rodosek (Hrsg.)
2. DFN-Forum Kommunikationstechnologien
Beiträge der Fachtagung

P-150 Jürgen Münch, Peter Liggesmeyer (Hrsg.)
Software Engineering
2009 - Workshopband

P-151 Armin Heinzl, Peter Dadam, Stefan Kirn, Peter Lockemann (Eds.)
PRIMIUM
Process Innovation for Enterprise Software

P-152 Jan Mendling, Stefanie Rinderle-Ma, Werner Esswein (Eds.)
Enterprise Modelling and Information Systems Architectures
Proceedings of the 3rd Int'l Workshop EMISA 2009

P-153 Andreas Schwill, Nicolas Apostolopoulos (Hrsg.)
Lernen im Digitalen Zeitalter
DeLFI 2009 – Die 7. E-Learning Fachtagung Informatik

P-154 Stefan Fischer, Erik Maehle Rüdiger Reischuk (Hrsg.)
INFORMATIK 2009
Im Focus das Leben

P-155 Arslan Brömme, Christoph Busch, Detlef Hühnlein (Eds.)
BIOSIG 2009:
Biometrics and Electronic Signatures
Proceedings of the Special Interest Group on Biometrics and Electronic Signatures

P-156 Bernhard Koerber (Hrsg.)
Zukunft braucht Herkunft
25 Jahre »INFOS – Informatik und Schule«

P-157 Ivo Grosse, Steffen Neumann, Stefan Posch, Falk Schreiber, Peter Stadler (Eds.)
German Conference on Bioinformatics 2009

P-158 W. Claupein, L. Theuvsen, A. Kämpf, M. Morgenstern (Hrsg.)
Precision Agriculture Reloaded – Informationsgestützte Landwirtschaft

P-159 Gregor Engels, Markus Luckey, Wilhelm Schäfer (Hrsg.)
Software Engineering 2010

P-160 Gregor Engels, Markus Luckey, Alexander Pretschner, Ralf Reussner (Hrsg.)
Software Engineering 2010 – Workshopband
(inkl. Doktorandensymposium)

P-161 Gregor Engels, Dimitris Karagiannis Heinrich C. Mayr (Hrsg.)
Modellierung 2010

P-162 Maria A. Wimmer, Uwe Brinkhoff, Siegfried Kaiser, Dagmar Lück-Schneider, Erich Schweighofer, Andreas Wiebe (Hrsg.)
Vernetzte IT für einen effektiven Staat
Gemeinsame Fachtagung Verwaltungsinformatik (FTVI) und Fachtagung Rechtsinformatik (FTRI) 2010

P-163 Markus Bick, Stefan Eulgem, Elgar Fleisch, J. Felix Hampe, Birgitta König-Ries, Franz Lehner, Key Pousttchi, Kai Rannenberg (Hrsg.)
Mobile und Ubiquitäre Informationssysteme
Technologien, Anwendungen und Dienste zur Unterstützung von mobiler Kollaboration

P-164 Arslan Brömme, Christoph Busch (Eds.)
BIOSIG 2010: Biometrics and Electronic Signatures Proceedings of the Special Interest Group on Biometrics and Electronic Signatures

P-165 Gerald Eichler, Peter Kropf, Ulrike Lechner, Phayung Meesad, Herwig Unger (Eds.)
10th International Conference on Innovative Internet Community Systems (I^2CS) – Jubilee Edition 2010 –

P-166 Paul Müller, Bernhard Neumair, Gabi Dreo Rodosek (Hrsg.)
3. DFN-Forum Kommunikationstechnologien
Beiträge der Fachtagung

P-167 Robert Krimmer, Rüdiger Grimm (Eds.)
4th International Conference on Electronic Voting 2010
co-organized by the Council of Europe, Gesellschaft für Informatik and E-Voting.CC

P-168 Ira Diethelm, Christina Dörge, Claudia Hildebrandt, Carsten Schulte (Hrsg.)
Didaktik der Informatik
Möglichkeiten empirischer Forschungsmethoden und Perspektiven der Fachdidaktik

P-169 Michael Kerres, Nadine Ojstersek Ulrik Schroeder, Ulrich Hoppe (Hrsg.)
DeLFI 2010 - 8. Tagung der Fachgruppe E-Learning der Gesellschaft für Informatik e.V.

P-170 Felix C. Freiling (Hrsg.)
Sicherheit 2010
Sicherheit, Schutz und Zuverlässigkeit

P-171 Werner Esswein, Klaus Turowski, Martin Juhrisch (Hrsg.)
Modellierung betrieblicher Informationssysteme (MobIS 2010)
Modellgestütztes Management

P-172 Stefan Klink, Agnes Koschmider Marco Mevius, Andreas Oberweis (Hrsg.)
EMISA 2010
Einflussfaktoren auf die Entwicklung flexibler, integrierter Informationssysteme
Beiträge des Workshops der GI-Fachgruppe EMISA (Entwicklungsmethoden für Informationssysteme und deren Anwendung)

P-173 Dietmar Schomburg, Andreas Grote (Eds.)
German Conference on Bioinformatics 2010

P-174 Arslan Brömme, Torsten Eymann, Detlef Hühnlein, Heiko Roßnagel, Paul Schmücker (Hrsg.)
perspeGKtive 2010
Workshop „Innovative und sichere Informationstechnologie für das Gesundheitswesen von morgen“

P-175 Klaus-Peter Fähnrich, Bogdan Franczyk (Hrsg.)
INFORMATIK 2010
Service Science – Neue Perspektiven für die Informatik
Band 1

P-176 Klaus-Peter Fähnrich, Bogdan Franczyk (Hrsg.)
INFORMATIK 2010
Service Science – Neue Perspektiven für die Informatik
Band 2

P-177 Witold Abramowicz, Rainer Alt, Klaus-Peter Fähnrich, Bogdan Franczyk, Leszek A. Maciaszek (Eds.)
INFORMATIK 2010
Business Process and Service Science – Proceedings of ISSS and BPSC

P-178 Wolfram Pietsch, Benedikt Krams (Hrsg.)
Vom Projekt zum Produkt
Fachtagung des GI-Fachausschusses Management der Anwendungsentwicklung und -wartung im Fachbereich Wirtschafts-informatik (WI-MAW), Aachen, 2010

P-179 Stefan Gruner, Bernhard Rumpe (Eds.)
FM+AM`2010
Second International Workshop on Formal Methods and Agile Methods

P-180 Theo Härder, Wolfgang Lehner, Bernhard Mitschang, Harald Schöning, Holger Schwarz (Hrsg.)
Datenbanksysteme für Business, Technologie und Web (BTW)
14. Fachtagung des GI-Fachbereichs „Datenbanken und Informationssysteme“ (DBIS)

P-181 Michael Clasen, Otto Schätzel, Brigitte Theuvsen (Hrsg.)
Qualität und Effizienz durch informationsgestützte Landwirtschaft, Fokus: Moderne Weinwirtschaft

P-182 Ronald Maier (Hrsg.)
6th Conference on Professional Knowledge Management
From Knowledge to Action

P-183 Ralf Reussner, Matthias Grund, Andreas Oberweis, Walter Tichy (Hrsg.)
Software Engineering 2011
Fachtagung des GI-Fachbereichs Softwaretechnik

P-184 Ralf Reussner, Alexander Pretschner, Stefan Jähnichen (Hrsg.)
Software Engineering 2011
Workshopband
(inkl. Doktorandensymposium)

P-185 Hagen Höpfner, Günther Specht, Thomas Ritz, Christian Bunse (Hrsg.)
MMS 2011: Mobile und ubiquitäre Informationssysteme Proceedings zur 6. Konferenz Mobile und Ubiquitäre Informationssysteme (MMS 2011)

P-186 Gerald Eichler, Axel Küpper, Volkmar Schau, Hacène Fouchal, Herwig Unger (Eds.)
11th International Conference on Innovative Internet Community Systems (I^2CS)

P-187 Paul Müller, Bernhard Neumair, Gabi Dreo Rodosek (Hrsg.)
4. DFN-Forum Kommunikations-technologien, Beiträge der Fachtagung 20. Juni bis 21. Juni 2011 Bonn

P-188 Holger Rohland, Andrea Kienle, Steffen Friedrich (Hrsg.)
DeLFI 2011 – Die 9. e-Learning Fachtagung Informatik der Gesellschaft für Informatik e.V. 5.–8. September 2011, Dresden

P-189 Thomas, Marco (Hrsg.)
Informatik in Bildung und Beruf INFOS 2011
14. GI-Fachtagung Informatik und Schule

P-190 Markus Nüttgens, Oliver Thomas, Barbara Weber (Eds.)
Enterprise Modelling and Information Systems Architectures (EMISA 2011)

P-191 Arslan Brömme, Christoph Busch (Eds.)
BIOSIG 2011
International Conference of the Biometrics Special Interest Group

P-192 Hans-Ulrich Heiß, Peter Pepper, Holger Schlingloff, Jörg Schneider (Hrsg.)
INFORMATIK 2011
Informatik schafft Communities

P-193 Wolfgang Lehner, Gunther Piller (Hrsg.)
IMDM 2011

P-194 M. Clasen, G. Fröhlich, H. Bernhardt, K. Hildebrand, B. Theuvsen (Hrsg.)
Informationstechnologie für eine nachhaltige Landbewirtschaftung
Fokus Forstwirtschaft

P-195 Neeraj Suri, Michael Waidner (Hrsg.)
Sicherheit 2012
Sicherheit, Schutz und Zuverlässigkeit
Beiträge der 6. Jahrestagung des Fachbereichs Sicherheit der Gesellschaft für Informatik e.V. (GI)

P-196 Arslan Brömme, Christoph Busch (Eds.)
BIOSIG 2012
Proceedings of the 11th International Conference of the Biometrics Special Interest Group

P-197 Jörn von Lucke, Christian P. Geiger, Siegfried Kaiser, Erich Schweighofer, Maria A. Wimmer (Hrsg.)
Auf dem Weg zu einer offenen, smarten und vernetzten Verwaltungskultur
Gemeinsame Fachtagung Verwaltungsinformatik (FTVI) und Fachtagung Rechtsinformatik (FTRI) 2012

P-198 Stefan Jähnichen, Axel Küpper, Sahin Albayrak (Hrsg.)
Software Engineering 2012
Fachtagung des GI-Fachbereichs Softwaretechnik

P-199 Stefan Jähnichen, Bernhard Rumpe, Holger Schlingloff (Hrsg.)
Software Engineering 2012
Workshopband

P-200 Gero Mühl, Jan Richling, Andreas Herkersdorf (Hrsg.)
ARCS 2012 Workshops

P-201 Elmar J. Sinz Andy Schürr (Hrsg.)
Modellierung 2012

P-202 Andrea Back, Markus Bick, Martin Breunig, Key Pousttchi, Frédéric Thiesse (Hrsg.)
MMS 2012:Mobile und Ubiquitäre Informationssysteme

P-203 Paul Müller, Bernhard Neumair, Helmut Reiser, Gabi Dreo Rodosek (Hrsg.)
5. DFN-Forum Kommunikations-technologien
Beiträge der Fachtagung

P-204 Gerald Eichler, Leendert W. M. Wienhofen, Anders Kofod-Petersen, Herwig Unger (Eds.)
12th International Conference on Innovative Internet Community Systems (I2CS 2012)

P-205 Manuel J. Kripp, Melanie Volkamer, Rüdiger Grimm (Eds.)
5th International Conference on Electronic Voting 2012 (EVOTE2012)
Co-organized by the Council of Europe, Gesellschaft für Informatik and E-Voting.CC

P-206 Stefanie Rinderle-Ma, Mathias Weske (Hrsg.)
EMISA 2012
Der Mensch im Zentrum der Modellierung

P-207 Jörg Desel, Jörg M. Haake, Christian Spannagel (Hrsg.)
DeLFI 2012: Die 10. e-Learning Fachtagung Informatik der Gesellschaft für Informatik e.V.
24.–26. September 2012

P-208 Ursula Goltz, Marcus Magnor, Hans-Jürgen Appelrath, Herbert Matthies, Wolf-Tilo Balke, Lars Wolf (Hrsg.)
INFORMATIK 2012

P-209 Hans Brandt-Pook, André Fleer, Thorsten Spitta, Malte Wattenberg (Hrsg.)
Nachhaltiges Software Management

P-210 Erhard Plödereder, Peter Dencker, Herbert Klenk, Hubert B. Keller, Silke Spitzer (Hrsg.)
Automotive – Safety & Security 2012
Sicherheit und Zuverlässigkeit für automobile Informationstechnik

P-211 M. Clasen, K. C. Kersebaum, A. Meyer-Aurich, B. Theuvsen (Hrsg.)
Massendatenmanagement in der Agrar- und Ernährungswirtschaft
Erhebung - Verarbeitung - Nutzung
Referate der 33. GIL-Jahrestagung
20. – 21. Februar 2013, Potsdam

P-212 Arslan Brömme, Christoph Busch (Eds.)
BIOSIG 2013
Proceedings of the 12th International Conference of the Biometrics Special Interest Group
04.–06. September 2013
Darmstadt, Germany

P-213 Stefan Kowalewski, Bernhard Rumpe (Hrsg.)
Software Engineering 2013
Fachtagung des GI-Fachbereichs Softwaretechnik

P-214 Volker Markl, Gunter Saake, Kai-Uwe Sattler, Gregor Hackenbroich, Bernhard Mit schang, Theo Härder, Veit Köppen (Hrsg.)
Datenbanksysteme für Business, Technologie und Web (BTW) 2013
13. – 15. März 2013, Magdeburg

P-215 Stefan Wagner, Horst Lichter (Hrsg.)
Software Engineering 2013
Workshopband
(inkl. Doktorandensymposium)
26. Februar – 1. März 2013, Aachen

P-216 Gunter Saake, Andreas Henrich, Wolfgang Lehner, Thomas Neumann, Veit Köppen (Hrsg.)
Datenbanksysteme für Business, Technologie und Web (BTW) 2013 – Workshopband
11. – 12. März 2013, Magdeburg

P-217 Paul Müller, Bernhard Neumair, Helmut Reiser, Gabi Dreo Rodosek (Hrsg.)
6. DFN-Forum Kommunikations-technologien
Beiträge der Fachtagung
03.–04. Juni 2013, Erlangen

P-218 Andreas Breiter, Christoph Rensing (Hrsg.)
DeLFI 2013: Die 11 e-Learning Fachtagung Informatik der Gesellschaft für Informatik e.V. (GI)
8. – 11. September 2013, Bremen

P-219 Norbert Breier, Peer Stechert, Thomas Wilke (Hrsg.)
Informatik erweitert Horizonte
INFOS 2013
15. GI-Fachtagung Informatik und Schule
26. – 28. September 2013

P-220 Matthias Horbach (Hrsg.)
INFORMATIK 2013
Informatik angepasst an Mensch, Organisation und Umwelt
16. – 20. September 2013, Koblenz

P-221 Maria A. Wimmer, Marijn Janssen, Ann Macintosh, Hans Jochen Scholl, Efthimios Tambouris (Eds.)
Electronic Government and Electronic Participation
Joint Proceedings of Ongoing Research of IFIP EGOV and IFIP ePart 2013
16. – 19. September 2013, Koblenz

P-222 Reinhard Jung, Manfred Reichert (Eds.)
Enterprise Modelling and Information Systems Architectures (EMISA 2013)
St. Gallen, Switzerland
September 5. – 6. 2013

P-223 Detlef Hühnlein, Heiko Roßnagel (Hrsg.)
Open Identity Summit 2013
10. – 11. September 2013
Kloster Banz, Germany

P-224 Eckhart Hanser, Martin Mikusz, Masud Fazal-Baqaie (Hrsg.)
Vorgehensmodelle 2013
Vorgehensmodelle – Anspruch und Wirklichkeit
20. Tagung der Fachgruppe Vorgehensmodelle im Fachgebiet Wirtschaftsinformatik (WI-VM) der Gesellschaft für Informatik e.V.
Lörrach, 2013

P-225 Hans-Georg Fill, Dimitris Karagiannis, Ulrich Reimer (Hrsg.)
Modellierung 2014
19. – 21. März 2014, Wien

P-226 M. Clasen, M. Hamer, S. Lehnert, B. Petersen, B. Theuvsen (Hrsg.)
IT-Standards in der Agrar- und Ernährungswirtschaft Fokus: Risiko- und Krisenmanagement
Referate der 34. GIL-Jahrestagung
24. – 25. Februar 2014, Bonn

P-227 Wilhelm Hasselbring,
Nils Christian Ehmke (Hrsg.)
Software Engineering 2014
Fachtagung des GI-Fachbereichs Softwaretechnik
25. – 28. Februar 2014
Kiel, Deutschland

P-228 Stefan Katzenbeisser, Volkmar Lotz, Edgar Weippl (Hrsg.)
Sicherheit 2014
Sicherheit, Schutz und Zuverlässigkeit
Beiträge der 7. Jahrestagung des Fachbereichs Sicherheit der Gesellschaft für Informatik e.V. (GI)
19. – 21. März 2014, Wien

P-229 Dagmar Lück-Schneider, Thomas Gordon, Siegfried Kaiser, Jörn von Lucke,Erich Schweighofer, Maria A.Wimmer, Martin G. Löhe (Hrsg.)
Gemeinsam Electronic Government ziel(gruppen)gerecht gestalten und organisieren
Gemeinsame Fachtagung Verwaltungsinformatik (FTVI) und Fachtagung Rechtsinformatik (FTRI) 2014, 20.-21. März 2014 in Berlin

P-230 Arslan Brömme, Christoph Busch (Eds.)
BIOSIG 2014
Proceedings of the 13th International Conference of the Biometrics Special Interest Group
10. – 12. September 2014 in Darmstadt, Germany

P-231 Paul Müller, Bernhard Neumair, Helmut Reiser, Gabi Dreo Rodosek (Hrsg.)
7. DFN-Forum Kommunikationstechnologien
16. – 17. Juni 2014
Fulda

P-232 E. Plödereder, L. Grunske, E. Schneider, D. Ull (Hrsg.)
INFORMATIK 2014
Big Data – Komplexität meistern
22. – 26. September 2014
Stuttgart

P-233 Stephan Trahasch, Rolf Plötzner, Gerhard Schneider, Claudia Gayer, Daniel Sassiat, Nicole Wöhrle (Hrsg.)
DeLFI 2014 – Die 12. e-Learning Fachtagung Informatik
der Gesellschaft für Informatik e.V.
15. – 17. September 2014
Freiburg

P-234 Fernand Feltz, Bela Mutschler, Benoît Otjacques (Eds.)
Enterprise Modelling and Information Systems Architectures
(EMISA 2014)
Luxembourg, September 25-26, 2014

P-235 Robert Giegerich, Ralf Hofestädt, Tim W. Nattkemper (Eds.)
German Conference on Bioinformatics 2014
September 28 – October 1
Bielefeld, Germany

P-236 Martin Engstler, Eckhart Hanser, Martin Mikusz, Georg Herzwurm (Hrsg.)
Projektmanagement und Vorgehensmodelle 2014
Soziale Aspekte und Standardisierung
Gemeinsame Tagung der Fachgruppen Projektmanagement (WI-PM) und Vorgehensmodelle (WI-VM) im Fachgebiet Wirtschaftsinformatik der Gesellschaft für Informatik e.V., Stuttgart 2014

P-237 Detlef Hühnlein, Heiko Roßnagel (Hrsg.)
Open Identity Summit 2014
4.–6. November 2014
Stuttgart, Germany

P-238 Arno Ruckelshausen, Hans-Peter Schwarz, Brigitte Theuvsen (Hrsg.)
Informatik in der Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft
Referate der 35. GIL-Jahrestagung
23. – 24. Februar 2015, Geisenheim

P-239 Uwe Aßmann, Birgit Demuth, Thorsten Spitta, Georg Püschel, Ronny Kaiser (Hrsg.)
Software Engineering & Management 2015
17.-20. März 2015, Dresden

P-240 Herbert Klenk, Hubert B. Keller, Erhard Plödereder, Peter Dencker (Hrsg.)
Automotive – Safety & Security 2015
Sicherheit und Zuverlässigkeit für automobile Informationstechnik
21.–22. April 2015, Stuttgart

P-241 Thomas Seidl, Norbert Ritter, Harald Schöning, Kai-Uwe Sattler, Theo Härder, Steffen Friedrich, Wolfram Wingerath (Hrsg.)
Datenbanksysteme für Business, Technologie und Web (BTW 2015)
04. – 06. März 2015, Hamburg

P-242 Norbert Ritter, Andreas Henrich, Wolfgang Lehner, Andreas Thor, Steffen Friedrich, Wolfram Wingerath (Hrsg.)
Datenbanksysteme für Business, Technologie und Web (BTW 2015) – Workshopband
02. – 03. März 2015, Hamburg

P-243 Paul Müller, Bernhard Neumair, Helmut Reiser, Gabi Dreo Rodosek (Hrsg.)
8. DFN-Forum Kommunikationstechnologien
06.–09. Juni 2015, Lübeck

P-244 Alfred Zimmermann, Alexander Rossmann (Eds.)
Digital Enterprise Computing (DEC 2015)
Böblingen, Germany June 25-26, 2015

P-245 Arslan Brömme, Christoph Busch , Christian Rathgeb, Andreas Uhl (Eds.)
BIOSIG 2015
Proceedings of the 14th International Conference of the Biometrics Special Interest Group
09.–11. September 2015
Darmstadt, Germany

P-246 Douglas W. Cunningham, Petra Hofstedt, Klaus Meer, Ingo Schmitt (Hrsg.)
INFORMATIK 2015
28.9.-2.10. 2015, Cottbus

P-247 Hans Pongratz, Reinhard Keil (Hrsg.)
DeLFI 2015 – Die 13. E-Learning Fachtagung Informatik der Gesellschaft für Informatik e.V. (GI)
1.–4. September 2015
München

P-248 Jens Kolb, Henrik Leopold, Jan Mendling (Eds.)
Enterprise Modelling and Information Systems Architectures
Proceedings of the 6th Int. Workshop on Enterprise Modelling and Information Systems Architectures, Innsbruck, Austria
September 3-4, 2015

P-249 Jens Gallenbacher (Hrsg.)
Informatik allgemeinbildend begreifen
INFOS 2015 16. GI-Fachtagung Informatik und Schule
20.–23. September 2015

P-250 Martin Engstler, Masud Fazal-Baqaie, Eckhart Hanser, Martin Mikusz, Alexander Volland (Hrsg.)
Projektmanagement und Vorgehensmodelle 2015
Hybride Projektstrukturen erfolgreich umsetzen
Gemeinsame Tagung der Fachgruppen Projektmanagement (WI-PM) und Vorgehensmodelle (WI-VM) im Fachgebiet Wirtschaftsinformatik der Gesellschaft für Informatik e.V., Elmshorn 2015

P-251 Detlef Hühnlein, Heiko Roßnagel, Raik Kuhlisch, Jan Ziesing (Eds.)
Open Identity Summit 2015
10.–11. November 2015
Berlin, Germany

P-252 Jens Knoop, Uwe Zdun (Hrsg.)
Software Engineering 2016
Fachtagung des GI-Fachbereichs Softwaretechnik
23.–26. Februar 2016, Wien

P-253 A. Ruckelshausen, A. Meyer-Aurich, T. Rath, G. Recke, B. Theuvsen (Hrsg.)
Informatik in der Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft
Fokus: Intelligente Systeme – Stand der Technik und neue Möglichkeiten
Referate der 36. GIL-Jahrestagung
22.-23. Februar 2016, Osnabrück

P-254 Andreas Oberweis, Ralf Reussner (Hrsg.)
Modellierung 2016
2.–4. März 2016, Karlsruhe

P-255 Stefanie Betz, Ulrich Reimer (Hrsg.)
Modellierung 2016 Workshopband
2.–4. März 2016, Karlsruhe

P-256 Michael Meier, Delphine Reinhardt, Steffen Wendzel (Hrsg.)
Sicherheit 2016
Sicherheit, Schutz und Zuverlässigkeit
Beiträge der 8. Jahrestagung des Fachbereichs Sicherheit der Gesellschaft für Informatik e.V. (GI)
5.–7. April 2016, Bonn

P-257 Paul Müller, Bernhard Neumair, Helmut Reiser, Gabi Dreo Rodosek (Hrsg.)
9. DFN-Forum Kommunikationstechnologien
31. Mai – 01. Juni 2016, Rostock

P-258 Dieter Hertweck, Christian Decker (Eds.)
Digital Enterprise Computing (DEC 2016)
14.–15. Juni 2016, Böblingen

P-259 Heinrich C. Mayr, Martin Pinzger (Hrsg.)
INFORMATIK 2016
26.–30. September 2016, Klagenfurt

P-260 Arslan Brömme, Christoph Busch, Christian Rathgeb, Andreas Uhl (Eds.)
BIOSIG 2016
Proceedings of the 15th International Conference of the Biometrics Special Interest Group
21.–23. September 2016, Darmstadt

P-261 Detlef Rätz, Michael Breidung, Dagmar Lück-Schneider, Siegfried Kaiser, Erich Schweighofer (Hrsg.)
Digitale Transformation: Methoden, Kompetenzen und Technologien für die Verwaltung
Gemeinsame Fachtagung Verwaltungsinformatik (FTVI) und Fachtagung Rechtsinformatik (FTRI) 2016
22.–23. September 2016, Dresden

P-262 Ulrike Lucke, Andreas Schwill, Raphael Zender (Hrsg.)
DeLFI 2016 – Die 14. E-Learning Fachtagung Informatik
der Gesellschaft für Informatik e.V. (GI)
11.–14. September 2016, Potsdam

P-263 Martin Engstler, Masud Fazal-Baqaie, Eckhart Hanser, Oliver Linssen, Martin Mikusz, Alexander Volland (Hrsg.)
Projektmanagement und Vorgehensmodelle 2016
Arbeiten in hybriden Projekten: Das Sowohl-als-auch von Stabilität und Dynamik
Gemeinsame Tagung der Fachgruppen Projektmanagement (WI-PM) und Vorgehensmodelle (WI-VM) im Fachgebiet Wirtschaftsinformatik der Gesellschaft für Informatik e.V., Paderborn 2016

P-264 Detlef Hühnlein, Heiko Roßnagel, Christian H. Schunck, Maurizio Talamo (Eds.)
Open Identity Summit 2016
der Gesellschaft für Informatik e.V. (GI)
13.–14. October 2016, Rome, Italy

P-265 Bernhard Mitschang, Daniela Nicklas,Frank Leymann, Harald Schöning, Melanie Herschel, Jens Teubner, Theo Härder, Oliver Kopp, Matthias Wieland (Hrsg.)
Datenbanksysteme für Business, Technologie und Web (BTW 2017)
6.–10. März 2017, Stuttgart

P-266 Bernhard Mitschang, Norbert Ritter, Holger Schwarz, Meike Klettke, Andreas Thor, Oliver Kopp, Matthias Wieland (Hrsg.)
Datenbanksysteme für Business, Technologie und Web (BTW 2017)
Workshopband
6.–7. März 2017, Stuttgart

P-267 Jan Jürjens, Kurt Schneider (Hrsg.)
Software Engineering 2017
21.–24. Februar 2017, Hannover

P-268 A. Ruckelshausen, A. Meyer-Aurich, W. Lentz, B. Theuvsen (Hrsg.)
Informatik in der Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft
Fokus: Digitale Transformation – Wege in eine zukunftsfähige Landwirtschaft
Referate der 37. GIL-Jahrestagung
06.–07. März 2017, Dresden

P-269 Peter Dencker, Herbert Klenk, Hubert Keller, Erhard Plödereder (Hrsg.)
Automotive – Safety & Security 2017
30.–31. Mai 2017, Stuttgart

P-271 Paul Müller, Bernhard Neumair, Helmut Reiser, Gabi Dreo Rodosek (Hrsg.)
10. DFN-Forum Kommunikations-technologien
30. – 31. Mai 2017, Berlin

P-272 Alexander Rossmann, Alfred Zimmermann (eds.)
Digital Enterprise Computing (DEC 2017)
11.–12. Juli 2017, Böblingen

P-273 Christoph Igel, Carsten Ullrich, Martin Wessner (Hrsg.)
BILDUNGSRÄUME
DeLFI 2017
Die 15. e-Learning Fachtagung Informatik der Gesellschaft für Informatik e.V. (GI)
5. bis 8. September 2017, Chemnitz

P-274 Ira Diethelm (Hrsg.)
Informatische Bildung zum Verstehen und Gestalten der digitalen Welt
13.–15. September 2017
Oldenburg

P-275 Maximilian Eibl, Martin Gaedke (Hrsg.)
INFORMATIK 2017
25.–29. September 2017
Chemnitz

P-277 Lothar Fritsch, Heiko Roßnagel, Detlef Hühnlein (Hrsg.)
Open Identity Summit 2017
5.– 6. October 2017
Karlstad, Sweden

The titles can be purchased at:

Köllen Druck + Verlag GmbH
Ernst-Robert-Curtius-Str. 14 · D-53117 Bonn
Fax: +49 (0)228/9898222
E-Mail: druckverlag@koellen.de

Gesellschaft für Informatik e.V. (GI)

publishes this series in order to make available to a broad public recent findings in informatics (i.e. computer science and information systems), to document conferences that are organized in cooperation with GI and to publish the annual GI Award dissertation.

Broken down into
• seminars
• proceedings
• dissertations
• thematics
current topics are dealt with from the vantage point of research and development, teaching and further training in theory and practice. The Editorial Committee uses an intensive review process in order to ensure high quality contributions.

The volumes are published in German or English.

Information: http://www.gi.de/service/publikationen/lni/

ISSN 1617-5468
ISBN 978-3-88579-669-5

"INFORMATIK 2017" was the 47th Annual Meeting of the Gesellschaft für Informatik and took place at the Chemnitz University of Technology. Under the main theme "Digitale Kulturen" goals, affords, achievements, and risks of digitalized culture were discussed.
This volume contains contributions from the workshop program, the student conference SKILL, the doctoral symposium, and the tutorials.